

Оригинальная статья

УДК 502/504:556.52:631.432

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-15-21

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ РАСТЕНИЙ К РЕГУЛИРОВАНИЮ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ И ЕГО КОНТРОЛЬ

ЯШИН ВАЛЕРИЙ МИХАЙЛОВИЧ[✉], канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
vniigimjashin@mail.ru

ГЛАЗУНОВА ИРИНА ВИКТОРОВНА[✉], канд. техн. наук, старший научный сотрудник
ivglazunova@mail.ru

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

Цель исследований – анализ моделей требований растений к регулированию водного режима почв по осуществлению обоснования диапазона оптимальной влажности и ее контроля на основе автоматизации и цифровизации в соответствии с алгоритмом управления режимом влажности мелиорируемых почв. Представлено обоснование требований растений к регулированию водного режима почв и его контроля. Выполнен анализ моделей зависимостей продуктивности сельскохозяйственных культур от формирования водного режима почвы для обоснования мелиораций (орошения). Приведены четыре подхода при разработке моделей данной направленности, построены графики требований основных сельскохозяйственных культур к почвенным влагозапасам применительно к суглинистым почвам. Выполнены динамические расчеты требуемых влагозапасов в почве по фазам развития растений для зерновых культур, позволяющие более детально регулировать водный режим с учетом развития продукционных процессов. Точность расчетов по модели В.В. Шабанова подтверждена микробиологическими исследованиями. На основе проведенных полевых исследований и по данным, имеющимся в открытом доступе, для повышения точности контроля влажности почвы в пределах обоснованных оптимальных диапазонов выполнены сравнительные анализы датчиков влажности и даны рекомендации. Для осуществления точных мелиораций необходимо не только выполнять модельные расчеты диапазонов оптимальной влажности по фазам развития растений, но и контролировать значения влажности почвы с достаточной точностью измерений современным оборудованием, осуществлять контролируемые поливы с внедрением автоматизации и цифровизации.

Ключевые слова: требования растений, фазы развития растений, регулирование водного режима, биоклиматическая модель, точные мелиорации, датчики влажности, контролируемые поливы, автоматизация, цифровизация в мелиорации

Формат цитирования: Яшин В.М., Глазунова И.В. Обоснование требований растений к регулированию водного режима почв и его контроль // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 15-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-15-21.

© Яшин В.М., Глазунова И.В., 2022

Original article

SUBSTANTIATION OF PLANT REQUIREMENTS FOR THE REGULATION OF THE WATER REGIME OF SOILS AND ITS CONTROL

YASHIN VALERY MIKHAILOVICH[✉], candidate of technical sciences, leading researcher
vniigimjashin@mail.ru

GLAZUNOVA IRINA VIKTOROVNA[✉], candidate of technical sciences, senior researcher
ivglazunova@mail.ru

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 44 B. Akademicheskaya Str., Building 2, Moscow, 127434, Russia

The purpose of the study is to analyze models of plant requirements for the regulation of the water regime of soils to substantiate the range of optimal humidity and its control based on automation

and digitalization in accordance with the algorithm for controlling the moisture regime of reclaimed soils. The substantiation of the requirements of plants to the regulation of the water regime of soils and its control is presented. The analysis of models of dependencies of agricultural productivity on the formation of the water regime of the soil to substantiate reclamation (irrigation) is carried out. Four approaches to the development of models of this orientation are given, graphs of the requirements of the main crops to soil moisture reserves are built, in relation to loamy soils. Dynamic calculations of the required moisture reserves in the soil according to the phases of plant development for grain crops are carried out, allowing regulating the water regime in more detail, taking into account the development of production processes. The accuracy of calculations according to the model of Shabanov V.V. is confirmed by microbiological studies. Based on the conducted field studies and according to the data available in the public domain, comparative analyses of moisture sensors were performed and recommendations were made to improve the accuracy of soil moisture control within reasonable optimal ranges. To carry out accurate reclamation, it is necessary not only to perform model calculations of the optimal humidity ranges for the phases of plant development, but also to control the soil moisture values with sufficient measurement accuracy with modern equipment, to carry out controlled watering with the introduction of automation and digitalization.

Keywords: requirements of plants, phases of plants development, regulation of water regime, bioclimatic model, precision reclamation, humidity sensors, controlled irrigation, automation, digitalization in reclamation

Format of citation: Yashin V.M., Glazunova I.V. Substantiation of plant requirements for the regulation of the water regime of soils and its control // Prirodoobustroystvo. – 2022. – № 5. – P. 15-21. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-15-21.

Введение. Важнейшей задачей управления мелиоративным состоянием агроэкосистемы является регулирование режима влажности почвы в определенном интервале значений, который обеспечивает требуемый (плановый) уровень продуктивности сельскохозяйственных растений. При этом необходимым звеном решения задачи является обоснование диапазона оптимальной влажности на основе цифровизации

и компьютерного моделирования, а также обеспечение контроля режима влажности мелиорируемых почв.

Материалы и методы исследований. При обосновании требований растений к регулированию водного режима был выполнен анализ моделей зависимостей продуктивности сельскохозяйственных культур от формирования водного режима почвы и представлена их классификация (рис. 1).



Рис. 1. Классификация моделей оценки урожайности в зависимости от влажности почвы

Fig. 1. Classification of yield estimation models according to soil moisture

Выполнен анализ моделей зависимостей продуктивности сельскохозяйственных культур от формирования водного режима почвы для обоснования мелиораций (орошения). Приведены четыре подхода при разработке моделей данной направленности:

Синоптико-статистические модели, применяемые в основном для прогноза валового сбора сельскохозяйственных культур при существующих климатических условиях для формирования выводов о необходимости орошения в данной местности. Преимуществом подхода является его простота. Недостатки подхода: большое число параметров; неоднозначность и ресурсоемкость; низкая адаптивность, линейность; справедливость для локальной местности в ограниченных условиях, для которых они получены [1, 2].

Динамико-статистические модели основаны на использовании сложившихся агрометеорологических условий, фактическом состоянии. Позволяют прогнозировать ожидаемую урожайность в период вегетации растений с заблаговременностью от 1 до 2-4 мес. и делать выводы о необходимости полива. Преимущества таких моделей заключаются в заблаговременном прогнозе и учете влияния метеорологических факторов. Недостатком является необходимость обновления моделей при изменении статистической отчетности.

Динамические модели учитывают биологические особенности сельскохозяйственной культуры, почвенно-климатические условия субъекта и адаптированы к сокращенному объему входной оперативной информации [3-6]. Модель SWAP в данном контексте используется для расчета водного стресса. Полив можно назначить, зная время наступления влажности водного стресса. Модель не дает возможности определить диапазон оптимальной влажности и показатели урожайности.

Модель MIKESHE является программным модульным комплексом для имитации движения поверхностных, подземных вод и загрязняющих веществ в пористых средах. В зависимости от эвапотранспирации происходит расчет влажности почвы в зоне аэрации. Учитываются тип почв и вид растительности, а также серии осадков и поливов. Зависимость урожайности от влажности почвы можно получить опосредованно. Назначение поливов задается в исходном блоке модели, и на выходе получается распределение влажности. Задавая различные варианты поливов, можно выбрать вариант с плановой урожайностью [4].

Модель Potato [6] предназначена для моделирования процесса роста и развития раннего

картофеля с учетом почвенно-климатических условий, полива и агротехники. На основе данных, получаемых в режиме реального времени, дается прогноз по формированию урожайности клубней, необходимости корректировки периодов и объемов полива, позволяющий сократить сроки принятия управленческих решений, регулирующих водный и питательный режимы.

Биоклиматическая модель В.В. Шабанова выполняет обоснование вероятности необходимости мелиораций по водным условиям при сравнении требований растений с факторами внешней среды. Рассчитываются зависимости урожайности от почвенных влагозапасов либо по средним характеристикам за вегетацию, либо по фазам развития растений. Определяется диапазон оптимальной влажности для получения плановой урожайности. Строится характеристика распределения почвенных влагозапасов на местности. Определяется степень соответствия почвенных влагозапасов местности требованиям выращиваемых растений. Дается оценка необходимости регулирования условий внешней среды (поливы) по фазам развития растений.

На основе сравнения преимуществ и недостатков моделей для компьютерных расчетов была выбрана модель В.В. Шабанова.

Зависимости урожайности от влажности почвы построили по модели В.В. Шабанова в прямом виде, задаваясь параметрами растений и почв в соответствующих блоках модели. Получили куполообразные зависимости урожайности от влагозапасов – средние как за вегетацию, так и по фазам развития культур. Вероятность необходимости поливов обоснована сравнением требований растений с влагозапасами почвы.

Исходными данными для модели являются: влагозапасы почвы по декадам вегетации; урожайность сельскохозяйственных культур; распределение вероятностей урожайности 10-, 25-, 50-, 75-, 90%-ной обеспеченности по фазам развития растений [5-8].

С использованием модели были выполнены расчеты для получения зависимости продуктивности различных сельскохозяйственных культур от почвенных влагозапасов в слое 50 см. Также выполнены динамические расчеты требуемых влагозапасов в почве по фазам развития растений для зерновых культур, позволяющие более детально регулировать водный режим с учетом развития продукционных процессов.

У зерновых принято отмечать следующие фазы развития (фенофазы), связанные с образованием отдельных органов или частей

растения (листьев, стеблей, соцветий, плодов): всходы, в том числе фаза третьего листа; кущение; выход в трубку; колошение, или выметывание; цветение; созревание (молочная, восковая и полная спелость).

При регулярном осушении в Нечерноземной зоне влажность почвы необходимо поддерживать в активном слое на торфяниках и легких почво-грунтах в пределах 70-85% НВ, а на среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почвах уровень влажности почвы, возможно, увеличивать до 75-90% НВ. На осушаемых землях регулирование влажности осуществляет дренаж, обеспечивающий допустимые глубины стояния уровня почвенно-грунтовых вод.

Точность расчетов по модели В.В. Шабанова подтверждена микробиологическими исследованиями [5]. При этом диапазон оптимальной для растений влажности почвы в нашем случае практически совпадает с диапазоном влажности почвы, который наиболее благоприятен для почвообразовательных процессов (рис. 2).

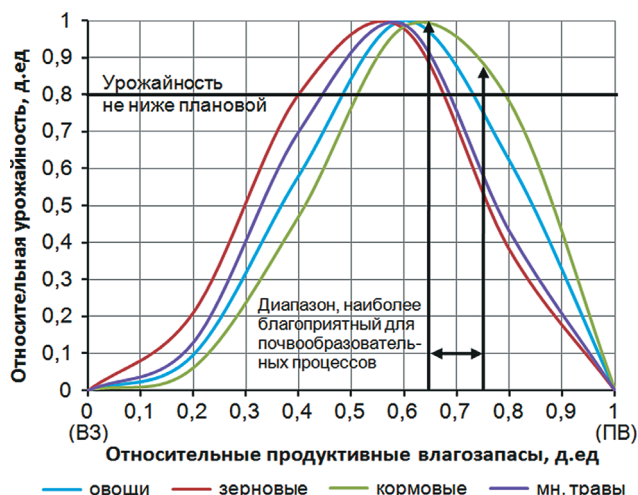


Рис. 2. Оптимальные диапазоны влажности почвы, благоприятные для продуктивности сельскохозяйственных растений

Fig. 2. Optimal ranges of soil moisture favorable for the productivity of agricultural plants and for soil-forming processes

На основе проведенных полевых исследований и по данным результатов полевых испытаний, имеющихся в открытом доступе, для повышения точности контроля влажности почвы в пределах обоснованных оптимальных диапазонов используются датчики влажности и тензиометры различных конструкций: WET-2 Delta-T Devices Ltd; SM150T Delta-T Devices Ltd; GAS-302 Green Helper; DAVIS6440 SOIL MOISTURE SENSOR (входит в комплект автоматизированной метеостанции DAVIS6345CSOV);

влагомер — термометр почвы TR46908 (щуп). Для получения информации о влажности по глубине почвенного профиля используются датчики: Profile Probe PR2 в комплекте с влагомером HH2; TRIME-PICO 64, TRIME-PICO 32 и TRIME-PICO ITH T3/44 с влагомером HD2, а также комплекты тензиометров.

В зависимости от увлажненности климата, который в Нечерноземной зоне меняется от влажного до умеренно влажного в Мещерской низине и менее влажного в Приокской провинции (а на юге и юго-востоке района, при переходе к лесостепной зоне, наблюдается неустойчивость увлажнения по годам и внутри теплого периода), для регулирования влажности необходимо дополнительное увлажнение с использованием оросительной составляющей системы. Поэтому для осуществления точных мелиораций необходимо не только выполнять модельные расчеты диапазонов оптимальной влажности и контролировать значения влажности почвы с достаточной точностью измерений современным оборудованием, но и осуществлять контролируемые поливы с внедрением автоматизации и цифровизации.

По результатам полевых испытаний и на основе анализа данных других исследователей был выполнен анализ контроллеров и других устройств управления поливами: контроллеры полива Green Helper, модификации которых различаются количеством обслуживаемых зон и конструктивными особенностями (GA 350-11, GA-021, GA-349-8, GA 322N), контроллер HUNTER ELC C01-E на 6 зон, пульт управления поливом RPS1224 на 12 зон и др.).

В современных условиях для проведения точной мелиорации рекомендуются контроллеры полива и измерители влажности, в которых сигналы от сенсоров влажности передаются в автоматизированную систему по каналам сотовой связи и с использованием облачных технологий. При наличии больших массивов данных по распределенным объектам используются беспроводные системы удаленного ввода/вывода с применением логистических контроллеров ioLogic.

Важным мероприятием при оборудовании мелиорируемого участка индикаторами влажности (датчики влажности, скважины для контроля УГВ) является их репрезентативная расстановка, обеспечивающая достоверные данные по влажности поля (табл). Размещение датчиков влажности на орошаемых участках осуществляется в зависимости от способа и техники регулирования водного режима и биологических особенностей культуры.

На осушительных и осушительно-увлажнительных системах наблюдательные скважины размещаются на расстоянии от дрены, составляющем 1/3 междренья. На осушительно-оросительных и оросительных системах размещение сенсоров влажности (датчики влажности, тензиометры) осуществляется с учетом

способов и техники полива, которые определяют закономерности распределения оросительной воды по площади поля. Точки установки датчиков выбираются с учетом удобства организации наблюдений и неоднородности почв на участке. Наличие почвенных разностей следует учитывать увеличением точек мониторинга.

Таблица

**Обоснование локации установки индикаторов влажности
в пределах мелиорируемого участка**

Table

Justification of the location of the installation of humidity indicators within the reclaimed area

№ п/п	Способы регулируемости влажности почвы <i>Ways to regulate soil moisture</i>	Технология <i>Technology</i>	Локация индикаторов влажности <i>Location of humidity indicators</i>
1	Осушение – увлажнение <i>Dehumidification – moisturizing</i>	Осушительно-увлаж- нительные системы <i>Dehumidification-mois- turizing systems</i>	Скважины размещаются от линии дрены на расстоянии 1/4-1/3 междренья <i>Wells are placed from the drain line at a distance of 1 / 4-1 / 3 of the interdrains</i>
2	Осушение – орошение <i>Dehumidifica- tion – moisturizing</i>	Осушительно-оросительные системы: <i>Dehumidification-moisturizing systems:</i>	
		- ДМ фронтального действия <i>- DM of frontal action</i>	Минимум по две точки по фронту, расположен- ные в двух створах, равномерно по полю <i>At least two points along the front, located in two gates, evenly across the field</i>
		- ДМ кругового действия <i>- DM of circular action</i>	По два пункта установки датчиков, по радиусам (4 пункта по диаметру) с размещением на рас- стоянии 1/3 и 3/4 радиуса поливного круга <i>Two points of installation of sensors, according to the radii (4 points in diameter) with placement at a dis- tance of 1 / 3 and 3 / 4 of the radius of the irrigation wheel</i>
		- шланго-барабан- ные ДМ <i>- hose-drum DM</i>	На карте 3-4 пункта на половине расстояния от линии водовода <i>On the map there are 3-4 points at half the distance from the line of the conduit</i>
3	Орошение <i>Irrigation</i>	- стационарное разме- щение дождевателей <i>- stationary placement of sprinklers</i>	Равномерное размещение 3-4 пунктов на участке <i>Uniform placement of 3-4 points on the site</i>
		- капельный полив <i>- drip irrigation</i>	Размещение вдоль капельной линии <i>Placement along the drip line</i>

Расстановка датчиков по глубине почвенного горизонта на орошаемом поле определяется глубиной зоны увлажнения, которая рассчитывается в зависимости от биологических особенностей развития корневой системы растений.

Одной из задач автоматизированного управления гидромелиоративными системами является обеспечение автоматизированного контроля влажности мелиорируемых почв, собственно обеспечение регулирования режимов осушения и орошения в нормативных пределах влажности почвы, так как водный режим является основным фактором, лимитирующим продукционные процессы и формирующим

определенный мелиоративный режим и мелиоративное состояние земель.

Автоматизированные системы помогают пользователю контролировать расход воды. На основании мониторинга и анализа данных водопользователь получает рекомендации о нормах и сроках полива, согласованные с биологическими потребностями выращиваемых культур. Поддержание диапазона оптимальной влажности почвы на основе обозначенных подходов и использования автоматизированных систем управления орошением реализуется в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3 [5-10].

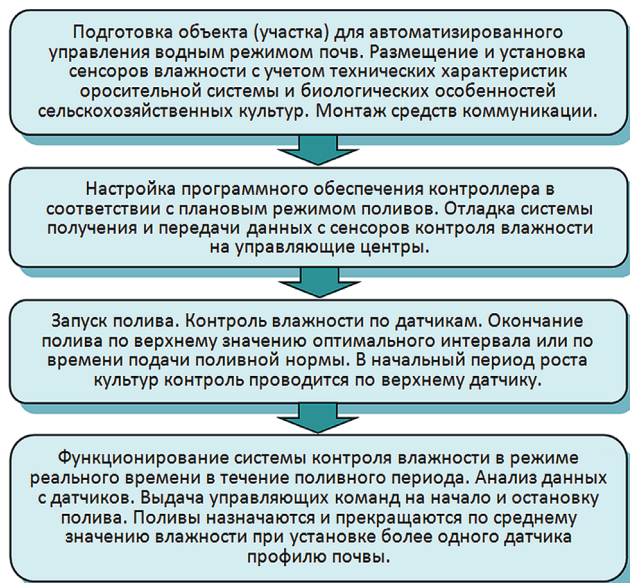


Рис. 3. Алгоритм модельного расчета и автоматизированного контроля при управлении режимом влажности для точных мелиораций

Fig. 3. Algorithm of model calculation and automated control in moisture management for precision reclamation

Выводы

По результатам проведенных исследований выполнен анализ существующих моделей обоснования оптимальной влажности почвы для сельскохозяйственных растений по эффективности, надежности, набору исходных данных для компьютерных расчетов, по фазам развития сельскохозяйственных растений в соответствии с годами разной обеспеченности по влажности. Рекомендована модель В.В. Шабанова.

Результаты выполненных исследований могут быть основой для преобразования формы управления влажностью почвы от традиционного к цифровизированному точному управлению с современным инструментальным

контролем и являются источником материала, помогающего сформулировать стратегию устойчивого развития мелиорированных земель.

Выполнен анализ моделей зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от формирования водного режима почвы для обоснования мелиораций. Приведены четыре подхода при разработке моделей данной направленности.

Выполнены динамические расчеты требуемых влагозапасов в почве по фазам развития растений для зерновых культур, позволяющие более детально регулировать водный режим с учетом развития продукционных процессов. Точность расчетов по модели В.В. Шабанова подтверждена результатами микробиологических исследований. При этом диапазон оптимальной для растений влажности почвы в нашем случае практически совпал с диапазоном влажности почвы, который является наиболее благоприятным для почвообразовательных процессов.

Для осуществления точных мелиораций необходимо не только выполнять модельные расчеты диапазонов оптимальной влажности, но и контролировать значения влажности почвы с достаточной точностью измерений современным оборудованием, а также осуществлять контролируемые поливы с внедрением средств автоматизации и цифровизации.

Использование методики и подходов к осуществлению обоснования диапазона оптимальной влажности и ее контроля на основе автоматизации и цифровизации в соответствии с алгоритмом управления режимом влажности мелиорируемых почв позволит товаропроизводителю увеличить производительность на 30-40% и повысить экономию водных ресурсов в среднем на 20-30%, а также более обоснованно управлять эффективным плодородием почв и мелиоративным состоянием агроэкосистем.

Библиографический список

1. Русакова Т.И. Современная технология поэтапного прогнозирования урожайности и валового сбора зерновых культур / Т.И. Русакова, В.М. Лебедева, И.Г. Грингоф, Н.М. Шкляева // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 7. – С. 101-108.
2. Лебедева В.М. Долгосрочный синоптико-статистический метод прогноза валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом // Труды ГУ «ВНИИСХМ». – 2010. – Вып. 37. – С. 69-81.
3. Клещенко А.Д., Найдина Т.А. Динамическая модель продукционного процесса кукурузы с использованием спутниковой информации и методы прогноза урожайности // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 12. – С. 88-98.

References

1. Rusakov T.I. Sovremennaya texnologiya po etapno-g prognozirovaniya urozhajnosti i valovogo sbora zernovykh kultur / Lebedeva V.M., Gringof I.G., Shklyayeva N.M. // Meteorologiya i gidrologiya. – 2006. – № 7. S. 101-108.
2. Lebedeva V.M. Dolgosrochnyj sinoptiko-statisticheskij metod prognoza valovogo sbora zernovykh kultur po federalnym okrugam i Rossii v tselom // Trudy GU «VNIISXM». – 2010. – Vyp. 37. – S. 69-81.
3. Kleshchenko A.D., Najdina T.A. Dinamicheskaya model produktsionnogo protsessa kukuruzy s ispolzovaniem sputnikovoj informatsii i metody prognoza urozhajnosti // Meteorologiya i gidrologiya. – 2012. – № 12. – S. 88-98.
4. Shabanov V.V. Bioklimaticheskoe obosnovanie melioratsij. – L.: Gidrometeoizdat, 1973. – 166 s. EDN: TZRBED5

4. **Шабанов В.В.** Биоклиматическое обоснование мелиораций. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 166 с. EDN: TZRBD5.

5. **Павлов В.Ю.** Параметры оптимальных условий жизнедеятельности почвенных микроорганизмов в агроценозе // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции; Под науч. ред. Н.П. Ларюшина, О.Н. Кухарева. – Пенза: ПГСХА, 2022. – С. 87-89.

6. **Бубер А.А., Добрачев Ю.П., Бородычев В.В., Меньшикова С.А.** Имитационная модель формирования урожая картофеля «Potato»: Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2021612970. 26.02.2021. Заяв. № 2021612016 от 18.02.2021.

7. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин и др. – М.: ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 296 с. EDN ZDXXYB.

8. **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. – EDN KXIETB.

9. **Glazunova I.V., Karpenko N.P.** Analysis of the reclamation measures efficiency within watershed and their impact on the water bodies // Collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 9th International Symposium «Steppes of Northern Eurasia». – 2021. – P. 012035.

10. **Барсукова М.В., Король Т.С., Ларутина Н.В.** Экологическая безопасность сельского хозяйства и сельскохозяйственной продукции – реальные шаги // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2020. – № 8. – С. 7-10.

Критерии авторства

Яшин В.М., Глазунова И.В. выполнили теоретические и экспериментальные 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 12.09.2022

Одобрена после рецензирования 18.10.2022

Принята к публикации 25.10.2022

5. **Pavlov V.Yu.** Parametry` optimalnyh uslovij zhiznedejatelnosti pochvennyh mikroorganizmov v agrotsenoze. / Sbornik: Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. / Sbornik statej VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakt. konf. Pod nauchnoj redaktsiej N.P. Laryushina, O.N. Kukhareva. – Penza: PGSXA, 2022. – S. 87-89.

6. **Buber A.A., Dobrachev Yu.P., Borodychev V.V., Menshikova S.A.** «Imitatsionnaya model formirovaniya urozhaya kartofelya «Rotato» Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM 2021612970, 26.02.2021. Zayavka № 2021612016 ot 18.02.2021.

7. Nauchnye osnovy sozdaniya i upravleniya meliorativnymi sistemami v Rossii / L.V. Kirejcheva, I.F. Yurchenko, V.M. Yashin[idr.]. – М.: VNIИagrohimiiimeni D.N. Pryanishnikova, 2017. – 296 s. ISBN978-5-9238-0235-1. – EDN ZDXXYB.

8. **Markin V.N., Glazunova I.V.** Voprosy rajonirovaniya territorii po neobходимosti orosheniya // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 3. – С. 35-40. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-35-40. – EDN KXIETB.

9. **Glazunova I.V., Karpenko N.P.** Analysis of the reclamation measures efficiency within watershed and their impact on the water bodies / Collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 9. Cep. “9th International Symposium “Steppes of Northern Eurasia”” 2021. C. 012035.

10. **Barsukova M.V., Korol T.S., Lagutina N.V.** Ekologicheskaya bezopasnost' selskogo hozyajstva i sel'skohozyajstvennoj produktsii – realnye shagi // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2020. – № 8. – С. 7-10.

Criteria of Authorship

Yashin V.M., Glazunova I.V. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Yashin V.M., Glazunova I.V. have 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 12.09.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022