

**К ОБОСНОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИ ОРОШЕНИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**JUSTIFICATION OF PROTECTIVE MEASURES AGAINST
DIFFUSE POLLUTION OF SURFACE WATER OBJECTS
DURING IRRIGATION BASED ON SIMULATION**

В.В. Бородычев, академик РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А.Л. Бубер

С.Д. Исаева, доктор технических наук

Ю.П. Добрачев, доктор технических наук, профессор

V.V. Borodychev, A.L. Buber, S.D. Isaeva, J.P. Dobrachev

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А.Н. Костякова, г. Москва*

*Federal State Budget Science Center «All-Russian Scientific Research Institute
of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow*

Дата поступления в редакцию 02.07.2019
Received 02.07.2019

Дата принятия к печати 15.09.2019
Submitted 15.09.2019

Диффузные источники загрязнений, в том числе и стоки с мелиорированных сельскохозяйственных земель, играют значительную роль в ухудшении экологического состояния водных объектов. Разрабатывается комплекс имитационных математических моделей как основы экспертно-аналитической системы для оценки поступления диффузного загрязнения с мелиорированных сельскохозяйственных земель в реку Волгу и обоснования водоохраных мероприятий. Научно-исследовательские работы проводятся в рамках Приоритетного проекта «Оздоровление Волги» на примере пилотного объекта – бассейна р. Малый Караман (Саратовская область). На первом этапе исследований создана база данных, необходимых для обоснования математических моделей объекта. Выполнен сбор фондовых и литературных материалов, проведена оцифровка тематических карт. Разработана цифровая модель рельефа по данным, полученным из открытых источников NASA (SRTM – Shuttle radar topography mission). В работе использована географическая информационная система с открытым исходным кодом QGIS. С ее помощью была создана топографическая основа в масштабе 1 : 100 000, построены карты водоносных горизонтов, карты-схемы размещения сельскохозяйственных угодий с указанием возделываемых культур, орошаемых и богарных земель. Использованы спутниковые снимки, полученные из открытых источников NASA (Landsat 7). В качестве моделирующей среды используется программный комплекс MIKE SHE Датского Гидравлического Института и собственные динамические модели агробиоценозов. Создается комплексная математическая модель бассейна р. Малый Караман, которая имитирует основные процессы гидрологического цикла на водосборе и включает модели эвапотранспирации, формирования поверхностного стока в водные объекты с отображением эрозионных процессов, впитывания осадков и поливной воды в почву, влагопереноса в зоне аэрации, а также движение грунтовых вод в насыщенной зоне, их взаимодействие с поверхностными водами и перенос растворенных веществ. На следующих этапах исследований на основе модельных сценарных исследований поступления диффузного стока в реку при разных вариантах мелиоративного и сельскохозяйственного воздействия на водосбор будет выполнено обоснование и оптимизация системы водоохраных мероприятий.

Diffuse pollution sources play a significant role in the water objects ecological state deterioration. Diffuse runoff from reclaimed agricultural land has a negative effect on the water state in the Volga basin. A complex of simulation mathematical models is being developed as the basis of an expert-analytical system for assessing the inflow of diffuse pollution from reclaimed agricultural land into the Volga River and substantiating water protection measures. Research works are carried out within the framework of the Priority Project «Improvement of the Volga» on the example of a pilot object - the Maliy Karaman river basin (Saratov region). The database was created at the first stage of research. The collection and analysis of meteorological, geomorphological, geological, hydrogeological, hydrophysical soil characteristics and other data has been performed. These data are necessary to justify the object mathematical models. Geological fund data and literary materials are collected. Digitization of thematic maps is done. Maps of the administrative division of the Saratov region, physiographic, soil, land-reclamation and soil zoning are digitized. The digital elevation model was developed according to NASA open source data (SRTM - Shuttle radar topography mission). Open source geographic information system QGIS is used in the work. The topographic basis was created with the help of this system at a scale of 1: 100 000. Maps of aquifers, maps of agricultural land allocation with the allocation of cultivated crops, as well as a map of the distribution of irrigated and rainfed land are built. Satellite images obtained from open sources NASA (Landsat 7) were used. The program complex MIKE SHE (Danish Hydraulic Institute) and our own dynamic models of agrobiocenoses are used as a modeling environment. A complex mathematical model of the Maliy Karaman river basin is being created. The model simulates the main processes of the hydrological cycle in the catchment area. It includes models of evapotranspiration, formation of surface runoff into water bodies, taking into account erosion processes, penetration of precipitation and irrigation water into the soil, moisture transfer in the aeration zone, as well as groundwater movement in the saturated zone, their interaction with surface waters and transfer of dissolved substances. At subsequent stages of research based on model scenario studies of diffuse flow into the river with different options for ameliorative and agricultural impact on the catchment, the rationale and optimization of the system of water protection measures will be performed.

Ключевые слова: диффузное загрязнение, водные объекты, имитационное математическое моделирование, мероприятия по охране вод.

Key words: diffuse pollution, water objects, simulation mathematical models, water protection measures.

Цитирование. Бородычев В.В., Бубер А.Л., Исаева С.Д., Добрачев Ю.П. К обоснованию мероприятий по предотвращению диффузного загрязнения поверхностных водных объектов при орошении на основе имитационного моделирования. *Известия НВ АУК*. 2019. 3(55). 323-332. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-41

Citation. Borodychev V.V., Buber A.L., Isaeva S.D., Dobrachev J.P. Justification of protective measures against diffuse pollution of surface water objects during irrigation based on simulation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2019. 3(55). 323-332. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-41.

Введение. Загрязнение водных ресурсов, прежде всего поверхностных, в последние десятилетия обуславливает развитие целого комплекса социально-экономических проблем, связанных с водопользованием и требующих решения, особенно в регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов. К таким регионам относятся территории Саратовской и Астраханской областей, Республики Калмыкия, Ставропольского края, частично Волгоградской и Оренбургской областей отдельные районы Южного Урала и юга Сибири, и др. [6, 3, 10]. Из-за интенсивного антропогенного воздействия на водные объекты происходит ухудшение качества поверхностных и в ряде случаев подземных вод. При исследовании экологического состояния поверхност-

ных вод все большее внимание уделяется роли диффузного загрязнения. Анализ современного состояния рек страны, а также мировой опыт показывают, что на долю диффузных источников загрязнений может приходиться до 60-70 % от поступления поллютантов. С водосборной территории, занятой землями сельскохозяйственного назначения, загрязняющие вещества поступают в водные объекты с поверхностным стоком (преимущественно элементы-биогены, взвешенные вещества) и подземным (пестициды, ядохимикаты). Орошение как и непроизводительные потери воды при транспортировке на гидромелиоративных системах, может усиливать интенсивность процессов загрязнения, в том числе диффузного. Надо отметить, что величина водозабора по виду экономической деятельности «сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство, рыболовство и рыбоводство» из водных источников в 2017 г. была велика и составила, по данным Госдоклада о состоянии и об охране окружающей среды, 19 798,9 млн м³, или 28,7 % от общего объема изъятия вод. При этом за последние годы увеличился сброс, зачастую недостаточно или полностью неочищенных, сточных вод: с 3 273,91 млн м³ в 2014 г. (при заборе 16019,19 млн м³) до 6 017,8 млн м³ в 2017 г. (на 84 %). За 2010-2017 гг. потери воды в данном экономическом секторе при транспортировке увеличились с 4 288,75 млн м³ до 4 366,87 млн м³, что составило 63,4 % от общих потерь воды по Российской Федерации.

При мониторинге водных объектов, проводимом по действующим методикам, диффузные источники загрязнений практически не контролируются, несмотря на совершенствование систем мониторинга, в том числе на мелиорированных землях [12, 8]. На особенности поступления диффузного загрязнения с поверхностным склоновым, внутрисочным и грунтовым стоком существенно влияют характер сельскохозяйственного использования земель, нормы и виды вносимых удобрений, динамика климатических показателей и их внутригодовые флуктуации, вызванные потеплением климата [10, 1]. Проведение мониторинга в таких условиях с целью управления диффузным загрязнением и обоснования водоохраных мероприятий возможно при разработке специального методического обеспечения. Обоснование мероприятий по выявлению и предотвращению поступлений загрязнений в водные объекты с диффузным стоком с орошаемых земель сельскохозяйственного назначения предполагает применение экспертных систем, в основе которых лежит создание информационно-моделирующего комплекса на базе математических моделей.

Материалы и методы. Цель исследований – создание экспертной системы на базе комплекса математических моделей, позволяющих оценить условия формирования водного и химического стока при орошении земель, и их апробация для условий водосборных территорий притоков р. Волги в зоне орошения для обоснования мероприятий по предотвращению диффузного загрязнения рек, а также для разработки предложений по совершенствованию системы мониторинга диффузного загрязнения водных объектов. Научно-исследовательские работы проводятся в рамках приоритетного проекта «Оздоровление Волги». В качестве натурального объекта исследований и создания комплекса имитационных математических моделей выбран бассейн р. Малый Караман (Марксовский район Саратовской области).

В задачи исследований входит:

- создание базы исходных данных по бассейну р. Малый Караман включая характеристику физико-географических, метеорологических, гидрологических, геолого-гидрогеологически условий, землепользования, сельскохозяйственного и мелиоративного воздействия на компоненты окружающей среды;

- формирование комплекса математических моделей, алгоритма исследований и их компьютерной реализации, имитирующей движение поверхностных, грунтовых вод и загрязняющих веществ, их поступление в водные объекты в условиях орошения сельскохозяйственных земель на примере р. Малый Караман;

- выполнение сценарных исследований поступления диффузного стока при разных вариантах возможного мелиоративного и сельскохозяйственного воздействия в бассейне р. Малый Караман на основе созданной имитационной компьютерной модели;

- обоснование системы водоохраных мероприятий по снижению диффузного загрязнения водных объектов при орошении и эколого-экономическая оценка их эффективности;

- методологическое обобщение полученных результатов и разработка прототипа экспертной системы поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану водных объектов от диффузного загрязнения при орошении земель.

Исходные данные для формирования комплекса моделей получены на основе сбора фондовых и литературных материалов, выполнена оцифровка тематических карт административного деления Саратовской области, физико-географической, почвенной, мелиоративно-почвенного районирования. Разработана цифровая модель рельефа по данным, полученным из открытых источников NASA (SRTM – Shuttle radar topography mission). В работе использована географическая информационная система с открытым исходным кодом QGIS. С ее помощью была создана топографическая основа в масштабе 1 : 100 000, построены карты водоносных горизонтов, карты-схемы размещения сельскохозяйственных угодий с выделением возделываемых культур, распределения орошаемых и богарных земель. Использованы спутниковые снимки, полученные из открытых источников NASA (Landsat 7).

В качестве моделирующей среды используется программный комплекс MIKE SHE Датского Гидравлического Института и собственное программное обеспечение ВНИИГиМ (динамические модели агробиоценозов). Программная среда MIKE SHE широко используется для решения задач, связанных с моделированием потоков поверхностных (в каналах, реках, сток с водосбора) и подземных вод и их взаимодействием при формировании водного баланса речных бассейнов [14, 16, 15]. Модели агробиоценозов необходимы для оценки баланса влаги и химических элементов в системе атмосфера-почва-растение, определяющего объем воды и загрязняющих веществ, проникающих в зону аэрации и грунтовые воды.

Результаты и обсуждение. Для исследований и создания комплекса имитационных математических моделей, необходимых для оценки поступления диффузного загрязнения с мелиорированных сельскохозяйственных земель как пилотный объект в пределах Нижнего Поволжья был выбран бассейн р. Малый Караман. Типичность его природно-хозяйственных условий подтверждена анализом природных условий, а также особенностями ведения сельского хозяйства, орошаемого земледелия и мелиорации земель.

Река Малый Караман является левым притоком Волги, впадает в Волгоградское водохранилище. Протяженность реки около 100 км при площади водосбора порядка 1000 км². Годовое количество осадков в бассейне реки составляет 250-350 мм. Испаряемость – 940-890 мм. В период вегетации зерновых культур выпадает всего 20-30 % от годовой суммы осадков, что определяет необходимость широкого применения орошения.

Рельеф в бассейне р. Малый Караман пологий, увалистый. Водовмещающие отложения представлены преимущественно суглинками с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 0,4-0,7 м/сут. Подстилающие породы в основном глины. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 2-5 до 12-16 м и более. Воды преимущественно пресные.

В пределах бассейна почвенный покров представлен темно-каштановыми почвами. Они занимают все повышенные платообразные водоразделы (увалы) и их склоны. Темно-каштановые почвы характерны для Саратовской области и в общей структуре почвенного покрова территории занимают 22,8 %. Содержание гумуса в них колеблется от 1,5 до 3,0 %. По механическому составу это преимущественно тяжело- и среднесуглинистые почвы. Встречаются солонцеватые и засоленные почвы.

В Марксовском муниципальном районе, где расположен бассейн р. Малый Караман, агропромышленный комплекс играет ведущую экономическую роль. В районе 245,8 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, в том числе 195,4 тыс. га пашни. Основное направление сельского хозяйства – зерно-животноводческое. Орошение сельскохозяйственных земель ведется на площади 27,2 тыс. га.

В пределы водосборной территории р. Малый Караман попадают земли первой очереди Комсомольской и Приволжской оросительных систем, построенных в 1970-х гг. При пуске в эксплуатацию орошаемая площадь только первой очереди Комсомольской системы составляла 32,5 тыс. га, Приволжской – 10,6 тыс. га. В настоящее время мелиоративные системы нуждаются в ремонтных работах и реконструкции, а площадь орошаемых земель существенно сократилась. Однако мелиорация активно возрождается благодаря инициативе землепользователей и поддержке правительства области. Вода для орошения поступает из Волгоградского водохранилища и подается по магистральным системам распределительных и внутрихозяйственных каналов. Вводятся в строй орошаемые массивы, оснащенные современной дождевальной техникой. Орошаемые в настоящее время земли в пределах бассейна р. Малый Караман показаны на рисунке 1.

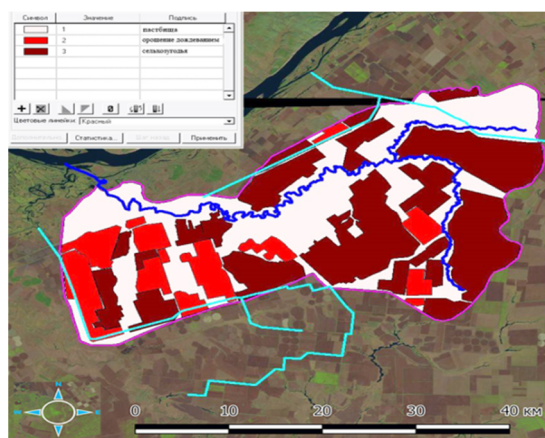


Рисунок 1– Распределение сельскохозяйственных земель бассейна р. Малый Караман по данным космоснимков Landsat

Figure 1 – Distribution of agricultural land in the river basin Small Karaman from Landsat satellite imagery

Как показывает многолетний опыт, орошение в Нижнем Поволжье, из-за низкой естественной дренированности земель, зачастую ведет к интенсивному подъему грунтовых вод, формированию верховодки, развитию вторичного засоления. Эти обстоятельства определяют необходимость строительства дренажа, который, в свою очередь, может стать источником поступления загрязнений в водные объекты, помимо поверхностного смыва.

Водные ресурсы Саратовской области в настоящее время уже подвергаются значительному техногенному воздействию, в том числе и в результате интенсификации сельскохозяйственного производства. Эти явления характерны и для водосборной территории р. Малый Караман. Гидрология реки мало изучена, постоянных гидрометрических постов на

реке нет. Определение необходимых расходов воды в реке произведено по эмпирическим формулам при отсутствии гидрометрических наблюдений [11]. Значения максимальных расходов весенних вод в устье р. М. Караман, подсчитанные для лет разной обеспеченности, составляют для 95 %-ной обеспеченности $4,1 \text{ м}^3/\text{с}$, для 1 %-ной – $134 \text{ м}^3/\text{с}$, а максимальные мгновенные расходы дождевых паводков при обеспеченности 1 % – $55 \text{ м}^3/\text{с}$, а при 25 % – $11,6 \text{ м}^3/\text{с}$. Средний многолетний слой весеннего стока для территории Саратовской области составил 40 мм. Основной фазой водного режима Малого Карамана является весеннее половодье, в период которого проходит порядка 80 % годового объема стока.

Проведенные выборочные наблюдения позволили выявить повышенную цветность (до 85 %), а также мутность воды в реке ($38,8\text{--}103,2 \text{ мг/дм}$). Вблизи населенных пунктов возрастает общая минерализация воды. Большое отрицательное влияние на качество воды в р. Малый Караман оказывают неорганизованные сбросы с территории населенных пунктов, а также неконтролируемый выпас скота. Выявлены превышения показателей по органическому загрязнению, наличие всех форм азотистых соединений, снижение процессов самоочищения, что характерно для рек европейской части России в целом [9, 5]. Воды реки оцениваются как загрязненные [11]. Приведенные данные с учетом намеченных перспектив развития сельскохозяйственного производства и орошения в регионе подтверждают необходимость разработки мероприятий по предотвращению попадания диффузного стока в речной сток, повышения водообеспеченности и сохранения благоприятного экологического состояния водных объектов [6, 7, 4, 2, 13].

Анализ и систематизация показателей природно-хозяйственных условий позволили представить исходную для моделирования информацию в форме массивов данных (метеорологические, геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрофизические характеристики почвы и др.), представленных как табличный материал, серии графиков и картограмм, рабочие модели.

На основе созданной базы исходных данных, используя программный комплекс MIKE SHE и собственное программное обеспечение, мы создали комплексную математическую модель бассейна р. Малый Караман, которая имитирует основные процессы гидрологического цикла на водосборе и включает модели эвапотранспирации, формирования поверхностного стока в водные объекты с отображением эрозионных процессов, впитывания осадков и поливной воды в почву, влагопереноса в зоне аэрации, а также движение грунтовых вод в насыщенной зоне, их взаимодействие с поверхностными водами и перенос растворенных веществ.

В основе системы программного комплекса MIKE SHE лежат физические уравнения в частных производных. Для решения нестационарных задач используется метод конечных разностей. На текущем этапе исследований проводится адаптация программного комплекса MIKE SHE к решению поставленных задач для условий водосборной территории р. Малый Караман.

В MIKE SHE используются программные модули, решающие физические уравнения Сен-Венана для открытого потока или Ричардса и Дарси для потоков в ненасыщенной и насыщенной зонах пористой среды. С модельным комплексом MIKE SHE проводится интеграция модели, разработанной во ВНИИГиМ. Модель позволяет имитировать рост растений и формирование урожая и продуктивность зерновых и кормовых культур для анализа динамики влаги и химических элементов в почвах. Модель учитывает показатели, связанные с гидравлическими характеристиками насосных станций, водораспределительной сети, дождевальной техники; показатели агрономических и гидрофизических свойств почв на орошаемых землях, метеоданные. На рисунке 2 представлена часть расчетной информации по модели, имитирующей рост яровой пшеницы, люцерны и водный обмен почвы с внешней средой.

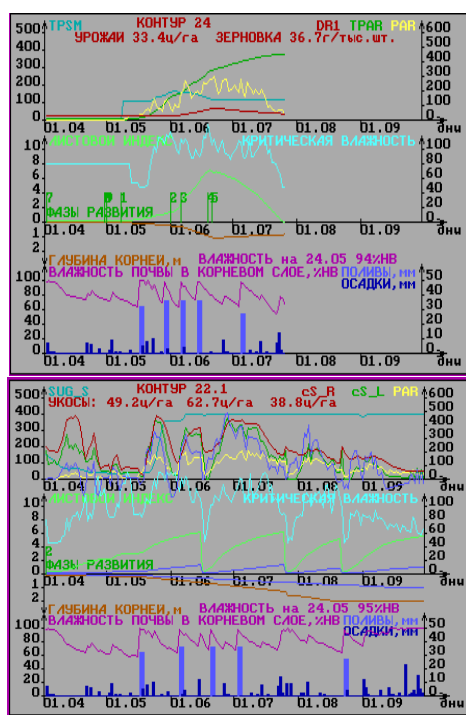


Рисунок 2 – Результаты численного эксперимента по формированию урожая яровой пшеницы и многоукосного использования посевов люцерны второго года по метеоусловиям г. Маркса за 2016 г.

Figure 2 – The results of a numerical experiment on the formation of a spring wheat crop and multi-crop use of alfalfa crops of the second year according to the weather conditions of Marx, 2016

В настоящее время на основе собранных исходных данных проводится верификация созданной комплексной модели. По балансовым схемам с учетом минерализации органического вещества с помощью модели, разработанной во ВНИИГиМ, выполняется прогноз динамики содержания минеральных азотсодержащих веществ и подвижных форм калийных и фосфорных удобрений в пахотном горизонте почвы. По ретроспективным рядам метеоданных модель позволит получить для растений достоверные оценки водопотребления, поглощения питательных веществ и другие характеристики. Полученные результаты определяют граничные и начальные условия при моделировании поступления загрязняющих веществ из атмосферы и почвы в зону аэрации и грунтовые воды. На следующем этапе сценарных исследований будет выполнен прогноз поступления загрязненного диффузного стока с водосборной территории Малого Карамана в поверхностные водные объекты при развитии орошения, мелиорации, дренажа. Анализ результатов прогнозных расчетов позволит обосновать меры по снижению объема и предотвращению проникновения загрязнений в водные объекты. Одновременно на примере пилотного объекта будет отработана методика создания экспертных систем для поддержки принятия решений по обоснованию организационно-хозяйственных и водоохранных мероприятий, снижающих поступление диффузного загрязнения в водные объекты на мелиоративных системах при орошении земель, а также разработаны предложения по совершенствованию ведения мониторинга водных объектов.

Заключение. Для обоснования мероприятий по выявлению и предотвращению поступлений загрязнений в водные объекты с диффузным стоком с орошаемых земель сельскохозяйственного назначения эффективно создание экспертной системы на основе информационно-моделирующего комплекса. Для создания комплекса имитационных

математических моделей как основы экспертно-аналитической системы выполнено формирование базы исходных данных по пилотному объекту – бассейну р. Малый Караман. Анализ и систематизация показателей природно-хозяйственных условий позволили представить исходный массив данных как табличный материал, в форме графиков и картограмм в зависимости от последующего их использования при моделировании. На основе данных в настоящее время проводится верификация модели, разработанной во ВНИИГиМ. Модель используется для прогноза динамики водопотребления культур, содержания минеральных азотсодержащих веществ и подвижных форм калийных и фосфорных удобрений в пахотном горизонте почвы и интегрируется с программным комплексом MIKE SHE для моделирования гидрологического цикла в бассейне р. Малый Караман, а также для выполнения сценарных исследований и анализа поступления диффузного загрязнения при разных вариантах мелиоративного и сельскохозяйственного воздействия в пределах водосборной территории с целью разработки эффективных водоохранных мероприятий и совершенствования системы экологического мониторинга.

Библиографический список

1. Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностных склоновый стоков в лесостепных и степных районах русской равнины // Водные ресурсы. 2018. Т.45. №4. С. 332-340.
2. Бородычев В.В., Бубер А.А., Сухова Т.Н. Воспроизводство водных биоресурсов и сохранение экосистемы Нижней Волги // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 3. С. 5-7.
3. Болгов М.В., Демина А.П. Водохозяйственные и экологические проблемы Нижней Волги и пути их решения // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 211-220.
4. Влияние весеннего половодья р. Волги на миграцию тяжелых металлов в почвах Волго-Ахтубинской поймы / Н.В. Тютюма, А.В. Кудряшов, А.А. Баканева, Е.В. Хюпинина // Известия НВ АУК. 2018. №4(52). С. 140-145.
5. Исследование сезонной динамики загрязненности поверхностных вод нижеволжского бассейна / Л.В. Боронина, П.Н. Садчиков, С.З. Тажиева, Е.В. Москвичева // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 419.
6. Кизяев Б.М., Исаева С.Д. Водообеспеченность Российской Федерации в условиях глобального потепления климата // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86. № 10. С. 909-914.
7. Кизяев, Б.М., Исаева, С.Д. Водное хозяйство: проблемы и пути их решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 23-27.
8. Концептуальные подходы к созданию систем мониторинга и управления орошением / А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, В.А. Шевченко, О.В. Бочарникова // Известия НВ АУК. 2019. №2(54). С. 26-39.
9. Многолетняя изменчивость загрязненности воды и состояния речных экосистем различных широтных зон европейской части России / А.М. Никаноров, Л.И. Минина, В.А. Брызгалов и др. // Водные ресурсы. 2016. Т.43. № 5. С. 515-527.
10. О качестве воды для сельскохозяйственного водоснабжения и мерах по его обеспечению / Н.Н. Дубенок, С.Д. Исаева, Е.В. Овчинникова, Н.С. Быстрицкая // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 250-254.
11. Оценка экологического состояния маргинальных водных объектов на примере устья и нижних течений рек Малый Караман и Большой Караман Саратовской области / Н.А. Угланов, Т.А. Маркина, Е.И. Тихомирова, С.В. Бобырев // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-5. С. 1168-1173.
12. Шевченко В.А., Исаева С.Д. Совершенствование мониторинга мелиорированных сельскохозяйственных земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 72-78.

13. Bolgov M.V., Buber A.L., Lotov A.V. Support for Making Strategic Decisions on the Water Supply of the Lower Volga River Based on the Pareto Frontier Visualization //Scientific and Technical Information Processing. 2018. Vol. 45. № 5. P. 1-10.

14. Coupled modeling of hydrologic and hydrodynamic processes including overland and channel flow / Jongo Kim, April Warnock, Valeriy Y.Ivanov, Nikolaos D. Ratopodes //Advances in Water Resources. 2012. Vol. 37. March. P. 104-126. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170811002211>

15. Modelling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with large semi-arid wetlands / Ayan Fleischmann, Vinicius Siqueira, Adrian Paris, Walter Collischonn, Rodrigo C.D. Paiva// Journal of hydrology. 2018. Vol. 561. June. P. 943-959. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418302944>

16. Rodrigo C.D. Paiva, Walter Collischonn, Carlos E.M. Tucc. Large scale hydrologic and hydrodinamic modelling using limited data and GIS based approach // Journal of Hydrology. 2011. Vol. 406. Issues 3-4. 6 September. P. 170-181. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411004045>

Reference

1. Barabanov A. T., Dolgov S. V., Koronkevich N. I. Vliyanie sovremennyh izmenenij klimata i sel'skohozyajstvennoj deyatel'nosti na vesennij poverhnostnyh sklonovyj stokov v lesostepnyh i stepnyh rajonah russkoj ravniny //Vodnye resursy. 2018. T.45. №4. P. 332-340.

2. Borodychev V. V., Buber A. A., Suhova T. N. Vosproizvodstvo vodnyh bioresursov i sohranenie jekosistemy Nizhnej Volgi //Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2018. № 3. P. 5-7.

3. Bolgov M. V., Demina A. P. Vodohozyajstvennye i jekologicheskie problemy Nizhnej Volgi i puti ih resheniya // Vodnye resursy. 2018. T. 45. № 2. P. 211-220.

4. Vliyanie vesennego polovod'ya r. Volgi na migraciju tyazhelyh metallov v pochvah Volgo-Ahtubinskoj pojmy / N. V. Tyutyuma, A. V. Kudryashov, A. A. Bakaneva, E. V. Hyupinina // Izvestiya NV AUK. 2018. №4(52). P. 140-145.

5. Issledovanie sezonnoj dinamiki zagryaznennosti poverhnostnyh vod nizhnevolzhskogo bassejna / L. V. Boronina, P. N. Sadchikov, S. Z. Tazhieva, E. V. Moskvicheva //Vodnye resursy. 2016. T. 43. № 4. P. 419.

6. Kizyaev B. M., Isaeva S. D. Vodoobespechennost' Rossijskoj Federacii v usloviyah global'nogo potepleniya klimata //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2016. T. 86. № 10. P. 909-914.

7. Kizyaev, B. M., Isaeva, S. D. Vodnoe hozyajstvo: problemy i puti ih resheniya //Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2015. № 6. P. 23-27.

8. Konceptual'nye podhody k sozdaniyu sistem monitoringa i upravleniya orosheniem / A. S. Ovchinnikov, V. V. Borodychev, M. N. Lytov, V. A. Shevchenko, O. V. Bocharnikova //Izvestiya NV AUK. 2019. №2(54). P. 26-39.

9. Mnogoletnyaya izmenchivost' zagryaznennosti vody i sostoyaniya rechnyh jekosistem razlichnyh shirotnyh zon evropejskoj chasti Rossii / A. M. Nikanorov, L. I. Minina, V. A. Bryzgalo i dr.// Vodnye resursy. 2016. T.43. № 5. P. 515-527.

10. O kachestve vody dlya sel'skohozyajstvennogo vodosnabzheniya i merah po ego obespecheniyu /N. N. Dubenok, S. D. Isaeva, E. V. Ovchinnikova, N. S. Bystrickaya //Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2015. № 3 (39). P. 250-254.

11. Ocenka jekologicheskogo sostoyaniya marginal'nyh vodnyh ob'ektov na primere ust'ya i nizhnih techenij rek Mal'j Karaman i Bol'shoj Karaman Saratovskoj oblasti / N. A. Uglanov, T. A. Markina, E. I. Tihomirova, S. V. Bobyrev // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 6-5. P. 1168-1173.

12. Shevchenko V. A., Isaeva S. D. Sovershenstvovanie monitoringa meliorirovannyh sel'skohozyajstvennyh zemel' // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2018. № 2 (50). p. 72-78.

13. Bolgov M.V., Buber A.L., Lotov A.V. Support for Making Strategic Decisions on the Water Supply of the Lower Volga River Based on the Pareto Frontier Visualization //Scientific and Technical Information Processing. 2018. Vol. 45. № 5. P. 1-10.

14. Coupled modeling of hydrologic and hydrodynamic processes including overland and channel flow / Jongo Kim, April Warnock, Valeriy Y.Ivanov, Nikolaos D. Ratopodes // *Advances in Water Resources*. 2012. Vol. 37. March. P. 104-126. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170811002211>

15. Modelling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with large semi-arid wetlands / Ayan Fleischmann, Vinicius Siqueira, Adrian Paris, Walter Collischonn, Rodrigo C.D. Paiva // *Journal of hydrology*. 2018. Vol. 561. June. P. 943-959. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418302944>

16. Rodrigo C.D. Paiva, Walter Collischonn, Carlos E.M. Tucc. Large scale hydrologic and hydrodynamic modelling using limited data and GIS based approach // *Journal of Hydrology*. 2011. Vol. 406. Issues 3-4. 6 September. P. 170-181. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411004045>

Информация об авторах

Бородычев Виктор Владимирович, академик РАН, директор Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научноисследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>. E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Бубер Александр Леонидович, заведующий отделом мелиоративно-водохозяйственного комплекса ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (РФ, 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, к.2), Тел.: 8(968) 942-93-93; E-mail: buber49@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-6807>

Исаева София Давидовна, главный научный сотрудник, зав.отделом экосистемного водопользования ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (РФ, 127550, Москва, ул.Б.Академическая, д. 44, к.2), доктор технических наук. Тел. 8(903) 681-98-00

E-mail: isaevasofia@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9640-2191>

Добрачев Юрий Павлович, главный научный сотрудник отдела мелиоративно-водохозяйственного комплекса ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (РФ, 127550, Москва, ул.Б.Академическая, д. 44, к.2), доктор технических наук, профессор

Тел.: 8(985)147-59-67 E-mail: dobrachev@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-3652>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 658.512:004.04:633

DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-42

ФОРМАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В БАЗОВЫХ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ АГРАРНОГО ВУЗА **FORMALIZATION AND ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROCESS OF WINTER WHEAT IN BASIC FARMING FARMS OF AGRARIAN UNIVERSITY**

О.В. Кочеткова, доктор технических наук, профессор

Е.В. Ширяева, кандидат технических наук, доцент

М.П. Васильев, старший преподаватель

O.V. Kochetkova, E.V. Shirayeva, M.P. Vasiliev

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd State Agrarian University

Дата поступления в редакцию 14.03.2019

Дата принятия к печати 17.09.2019

Received 14.03.2019

Submitted 17.09.2019

Выполнены моделирование и анализ важнейшего в цепочке ценности бизнес-процесса «Выполнить производство продукции и услуг» сельскохозяйственного предприятия, занимающегося производством озимой пшеницы. Для создания графических схем процесса применена современная методология бизнес-моделирования в нотации BPMN 2.0, которая может использоваться для перевода модели бизнес-процесса в соответствующий программный код и обеспечивает воз-