

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.432

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17

Моделирование водного режима почв на полях мелиоративных систем двойного регулирования

Вячеслав Николаевич Щедрин¹, Виктор Иванович Коржов²,
Антон Леонидович Кожанов³, Виктория Борисовна Черемисова⁴

^{1,3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

^{2,4}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹Rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6170-0014>

²kvi.vi@yandex.ru

³AntonKozhanov1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

⁴Malinina.victoria2017@yandex.ru

Аннотация. Цель: проведение исследований и разработка алгоритма моделирования водного режима почв на мелиорируемых полях мелиоративных систем двойного регулирования (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных) для последующей разработки информационных и программных средств, обеспечивающих возможность оперативного регулирования водных режимов почв на мелиорируемых полях сельскохозяйственных культур в различных областях и регионах РФ. **Материалы и методы.** Методологическую и информационную основу составили методы сбора и обработки информации, методы систематизации, нормативно-технические документы, положения по разработке информационных технологий, а также существующие средства информационно-технологической поддержки задач в мелиорации. **Результаты.** Алгоритм моделирования включает в себя три стадии: подготовка к моделированию, непосредственно моделирование, оценка результатов моделирования. На стадии моделирования задавался режим подачи воды на объект (мелиорируемое поле) поверхностным способом (дождевание) и (или) путем увлажнения (подпитки) грунтовыми водами и далее рассчитывались влагозапасы на объекте. На стадии оценки результатов моделирования определялись сроки, расходы и объемы, подаваемые на объект поверхностным способом и путем увлажнения почвы грунтовыми водами, формировались данные о результатах моделирования. Для визуального отображения результатов разработана главная экранная форма программы моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель». **Выводы.** В результате исследований разработан алгоритм моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле). Разработанный алгоритм позволяет оперативно проводить регулирование влагозапасов в почве для заданных режимов орошения культур за счет дождевания и (или) поднятия уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: осушительно-увлажнительная система, водный режим, почва, орошение, моделирование, мелиорируемое поле

Для цитирования: Моделирование водного режима почв на полях мелиоративных систем двойного регулирования / В. Н. Щедрин, В. И. Коржов, А. Л. Кожанов, В. Б. Черемисова // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 1–17. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17>.

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Modeling the soil water regime in the fields of irrigation systems of double regulation

Vyacheslav N. Shchedrin¹, Victor I. Korzhov², Anton L. Kozhanov³,
Victoria B. Cheremisova⁴

^{1,3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

^{2,4}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State
Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹Rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6170-0014>

²kvi.vi@yandex.ru

³AntonKozhanov1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

⁴Malinina.victoria2017@yandex.ru

Abstract. Purpose: to conduct research and develop an algorithm for soil water regime modeling on reclaimed fields of reclamation systems of double regulation (drainage-humidification, drainage-irrigation) for the subsequent development of information and software tools ensuring the possibility of operational regulation of water regimes of soils on reclaimed agricultural fields in various regions of the Russian Federation. **Materials and methods.** The methodological and informational basis was formed by methods of collecting and processing information, methods of systematization, normative and technical documents, provisions for the information technologies development as well as existing means of information technology support for land reclamation tasks. **Results.** The simulation algorithm includes three stages: preparation for simulation, simulation itself, simulation results evaluation. At the modeling stage, the mode of water supply to the object (reclaimed field) by the surface method (sprinkling) and (or) by moistening (feeding) with groundwater was set, and then the moisture content at the object was calculated. At the stage of evaluating the modeling results, the terms, discharges and volumes supplied to the object by the surface method and by moistening the soil with groundwater were determined, and data on the results of the modeling were formed. To display the results visually, the main screen form of the water regimes modeling program in “Water consumer” control loop was developed. **Conclusions.** As a result of the research, the algorithm for water regime modeling in “Water consumer” control loop (reclaimed field) was developed. The developed algorithm makes it possible to regulate quickly the moisture storage in soil for given crop irrigation regimes due to sprinkling and (or) raising the groundwater level.

Keywords: complex (double-acting) irrigation system, water regime, soil, irrigation, modeling, reclaimed field

For citation: Shchedrin V. N., Korzhov V. I., Kozhanov A. L., Cheremisova V. B. Modeling the soil water regime in the fields of irrigation systems of double regulation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(1):1–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17>.

Введение. В настоящее время технический прогресс и развитие компьютерных технологий оказали влияние на выпуск различных электронных гаджетов, позволяющих оперативно проводить решение различных

задач в мелиорации, расчет параметров мелиоративных систем, гидротехнических сооружений, моделирование различных режимов на полях мелиоративных систем в режиме реального времени с применением различного программного обеспечения [1, 2].

На сегодняшний день современные технологии, в т. ч. моделирование различных режимов на осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных системах двойного регулирования (СДР) водного режима, являются неотделимой частью нашей жизни при эксплуатации данных систем. Расчет параметров регулирования водных режимов почв как на оросительных системах, так и на СДР водного режима вручную занимает значительное время, в связи с чем необходима разработка программ для ЭВМ, позволяющих упростить и в разы ускорить время расчета [3].

Программы для ЭВМ, востребованные в мелиоративной отрасли, разрабатываются как для развития и расширения примитивных программ проектирования, так и для более сложных, таких как IRRICAD [4], PivotMapper, IrriMaker [5], а также для программных продуктов, решающих небольшие узкие задачи микроорошения, расчета спринклерных систем [6, 7].

По заключению С. М. Васильева [8], разработка различных новых программ для ЭВМ по расчету элементов осушительно-увлажнительных систем в дальнейшем разрешит вопрос автоматизации процессов проектирования мелиоративных СДР. Но в данной работе не говорится о разработке программного обеспечения, направленного на решение вопросов распределения водных ресурсов как по всей системе, так и по отдельным контурам регулирования (водопотребитель, группа водопотребителей, участок системы и др.).

Также согласно И. Ф. Юрченко [9] для повышения эффективности управления мелиорацией одним из способов подготовки управленческих решений информационных систем управления является автоматизированная информационно-вычислительная система, применяемая для процедур,

формализуемых на основе четко определенных алгоритмов и математических моделей.

Исходя из этого, целью настоящих исследований является разработка алгоритма моделирования водного режима почв на мелиорируемых полях мелиоративных систем двойного регулирования (СДР) (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных) для последующей разработки информационных и программных средств, обеспечивающих возможность оперативного регулирования водных режимов почв на мелиорируемых полях сельскохозяйственных культур в различных областях и регионах РФ.

Материалы и методы. Методологическую и информационную основу работ, связанных с моделированием водного режима почв на полях мелиоративных СДР, составили:

- методы сбора и обработки информации;
- методы систематизации информации;
- нормативно-технические документы [10];
- положения по разработке информационных технологий [11];
- техническая литература по режимам орошения сельскохозяйственных культур [12, 13];
- опыт создания и эксплуатации существующих средств информационно-технологической поддержки задач проектирования и эксплуатации осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем.

Результаты и обсуждение. Методика моделирования режимов распределения водных ресурсов на мелиоративных СДР заключается в выделении в структуре водораспределительной сети характерных контуров, таких как «Водопотребитель № 1, 2, ..., n », «Группа водопотребителей № 1, 2, ..., n », «Участок системы № 1, 2, ..., n » и «Система», для которых используют типовые моделирующие алгоритмы и средства.

При постановке задач моделирования применительно к производству сельскохозяйственных культур с использованием водных мелиораций

на мелиоративных СДР в качестве типового контура регулирования «Водопотребитель» может быть принято мелиорируемое поле.

Задача моделирования в этом случае состоит в контроле запасов влаги в осушаемо-увлажняемом слое почвы $h_{\text{п}}$, мм, и оказании соответствующих регулирующих воздействий (подача или отвод воды) при достижении ее заданных значений: минимально или максимально допустимых значений h_{min} , мм, и h_{max} , мм, определяющих потребности в водных ресурсах данного водопотребителя. В качестве минимальных и максимальных регулируемых значений принимаются соответственно значения предполивного порога (ПП) $h_{\text{ПП}}$, мм, и величины наименьшей влагоемкости (НВ) почвы $h_{\text{НВ}}$, мм [14].

Схема моделирования влагозапасов в активном слое почвы мелиорируемого поля в течение декады показана на рисунке 1.

Для моделирования динамики регулирования влагозапасов в активном слое почвы мелиорируемого поля, используемом для выращивания сельскохозяйственной культуры, в качестве исходных данных необходимы [11, 12]:

а) водно-физические свойства почвы:

- плотность почвы;
- НВ почвы;

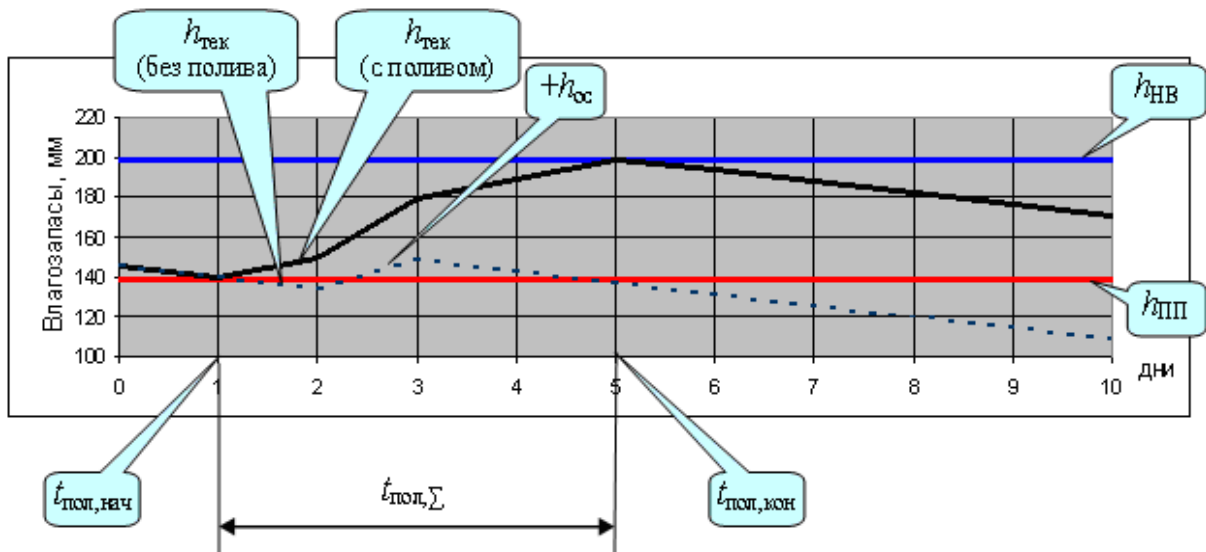
б) эксплуатационно-технические характеристики мелиорируемого участка:

- площадь участка;
- объемы воды, используемой для регулирования влагозапасов на участке поверхностным способом;
- объемы воды, используемой для регулирования влагозапасов путем увлажнения грунтовыми водами;

в) прогнозные природно-климатические характеристики региона:

- среднесуточные температуры;

- дефициты влажности воздуха;
- среднесуточные осадки;
- г) характеристики производимой сельскохозяйственной культуры:
 - значения биологических коэффициентов;
 - глубина увлажняемого слоя;
 - влажность ПП.



$h_{\text{тек}}$ – текущие влагозапасы, мм; $h_{\text{ос}}$ – среднесуточные осадки, мм;
 $h_{\text{НВ}}$ – наименьшая влагоемкость почвы, мм; $h_{\text{ПП}}$ – влагозапасы
 предполивного порога, мм; $h_{\text{пол,нач}}$ – дата начала полива;
 $h_{\text{пол,кон}}$ – дата конца полива; $h_{\text{пол,Σ}}$ – продолжительность полива, сут
 $h_{\text{тек}}$ – current moisture reserves, mm; $h_{\text{ос}}$ – average daily precipitation, mm;
 $h_{\text{НВ}}$ – soil minimum moisture content, mm; $h_{\text{ПП}}$ – moisture reserves
 of pre irrigation overfall, mm; $h_{\text{пол,нач}}$ – start date of irrigation;
 $h_{\text{пол,кон}}$ – end date of irrigation; $h_{\text{пол,Σ}}$ – duration of irrigation, days

Рисунок 1 – Схема моделирования динамики регулирования влагозапасов в активном слое почвы в течение декады

Figure 1 – Scheme for modeling the dynamics of moisture reserves regulation in the active soil layer during a decade

Алгоритм моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле) представлен на рисунке 2.

Алгоритм включает в себя три стадии: подготовка к моделированию, непосредственно моделирование, оценка результатов моделирования.

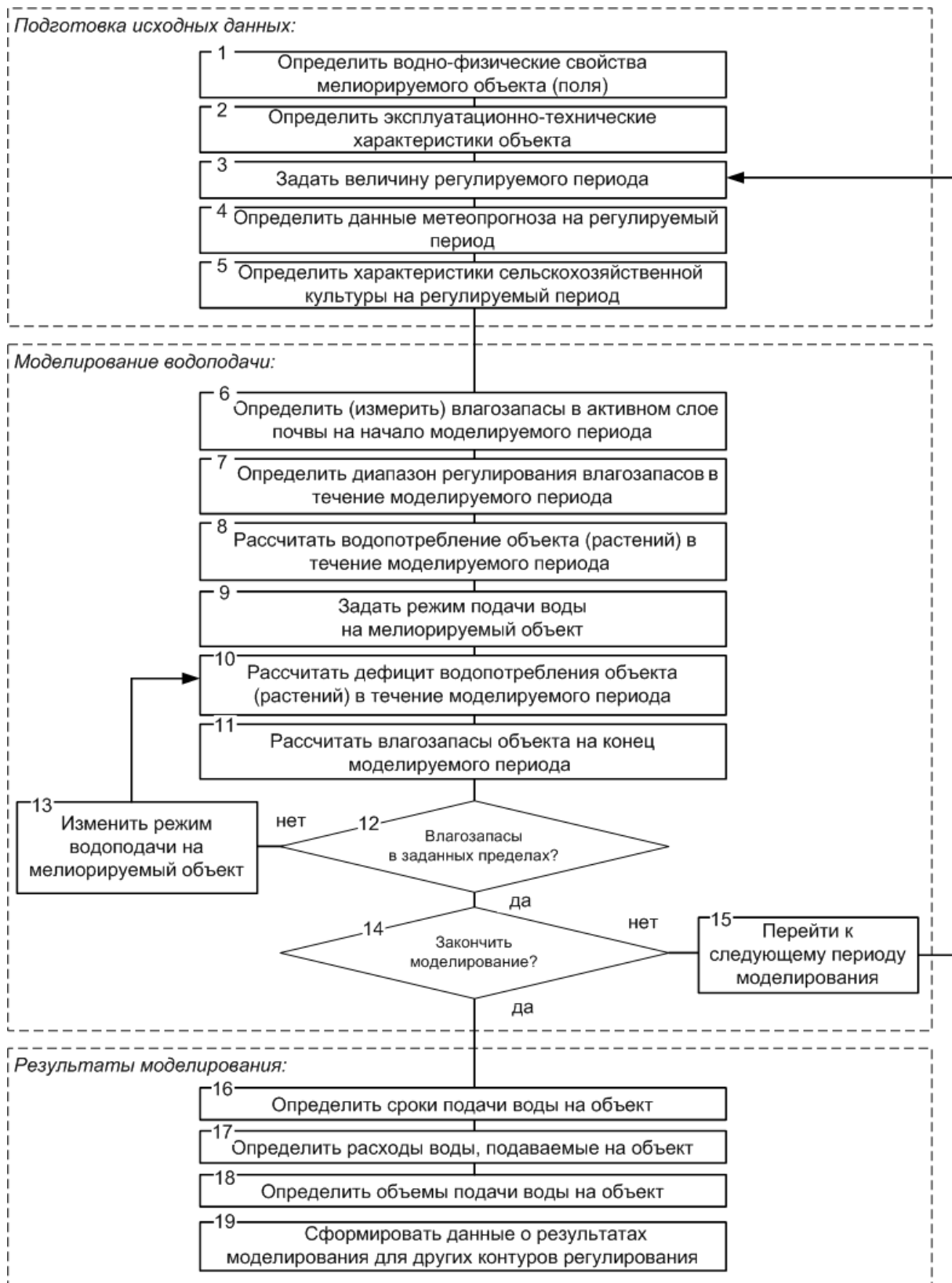


Рисунок 2 – Алгоритм моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле)

Figure 2 – Algorithm for modeling water regimes in the control loop “Water consumer” (reclaimed field)

На стадии подготовки к моделированию (группа блоков «Подготовка исходных данных») определяются (вводятся в моделирующую программу):

- данные о водно-физических характеристиках мелиорируемого объекта, для которого будет моделироваться водный режим: плотность почвогрунтов, влажность их НВ (блок 1);

- данные об эксплуатационно-технических характеристиках объекта: площадь, состав и производительность техники полива, КПД сети и т. п. (блок 2);

- величина моделируемого периода: часы, сутки, декады и т. д. (блок 3);

- данные метеопрогноза (статистические или фактические) на величину моделируемого периода: температура, дефицит влажности воздуха, осадки (блок 4);

- характеристики сельскохозяйственной культуры, выращиваемой на мелиорируемом участке: фаза развития растения, глубина корнеобитаемого слоя, влажность ПП (блок 5).

Исходя из этих данных, начинается процесс моделирования водоподдачи на объект (группа блоков «Моделирование водоподдачи»).

1 Определяются (измеряются) влагозапасы в активном слое почвы на начало регулирования $h_{\text{нач}}$, мм (блок 6).

2 Определяется диапазон регулирования влагозапасов, мм (блок 7):

- максимально допустимый (соответствующий состоянию НВ почвы) $h_{\text{НВ}}$, мм:

$$h_{\text{НВ}} = 10 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot w_{\text{п}} \cdot \delta_{\text{увл}},$$

где $\rho_{\text{п}}$ – плотность почвы, т/м³;

$w_{\text{п}}$ – НВ почвы, % от МСП;

$\delta_{\text{увл}}$ – глубина увлажняемого слоя, м;

- минимально допустимый (соответствующий состоянию ПП растений) $h_{\text{ПП}}$, мм:

$$h_{\text{ПП}} = 0,01 \cdot v_{\text{ПП}} \cdot h_{\text{НВ}},$$

где $v_{\text{ПП}}$ – влажность ПП, % от НВ.

3 Рассчитывается водопотребление объекта (растений) в течение моделируемого периода (блок 8) $h_{\text{раст}}$, мм:

$$h_{\text{раст}} = 10 \cdot k_{\text{б}} \cdot \Delta v_{\text{воз}},$$

где $k_{\text{б}}$ – биологический коэффициент;

$\Delta v_{\text{воз}}$ – дефицит влажности воздуха, мбар.

4 Задается режим подачи воды на объект поверхностным способом $h_{\text{пов}}$, мм, и (или) путем увлажнения грунтовыми водами $h_{\text{гр}}$, мм (блок 9).

5 Рассчитывается возможный дефицит водопотребления $h_{\text{в/п}}$, мм (блок 10):

$$\Delta h_{\text{в/п}} = h_{\text{раст}} - h_{\text{пов}} \pm h_{\text{гр}},$$

где $h_{\text{раст}}$ – водопотребление растений, мм;

$h_{\text{пов}}$ – водоподача поверхностным поливом, мм;

$h_{\text{гр}}$ – водоподача грунтовыми водами, мм.

6 Рассчитываются моделируемые влагозапасы на объекте на конец моделируемого периода $h_{\text{кон}}$, мм (блок 11):

$$h_{\text{кон}} = h_{\text{нач}} - \Delta h_{\text{в/п}},$$

где $h_{\text{нач}}$ – влагозапасы на начало периода, мм.

7 Производится анализ выполнения условия (блок 12):

$$h_{\text{ПП}} \leq h_{\text{кон}} \leq h_{\text{НВ}},$$

а) если условие не выполняется, то производится изменение режима подачи воды на объект ($h_{\text{пов}}$ и (или) $h_{\text{гр}}$) (блок 13) и процесс моделирования итерируется с п. 5 (блок 11);

б) если условие выполняется, то процесс моделирования либо осуществляется для нового интервала (блок 15), либо заканчивается (блок 14).

На стадии оценки результатов моделирования (группа блоков «Результаты моделирования»):

- определяются сроки подачи воды в контур регулирования по смоделированным периодам (поверхностным способом $t_{\text{пов}}$, ч/сут, и путем увлажнения почвы грунтовыми водами $t_{\text{гр}}$, ч/сут) (блок 16);

- строятся графики (функции) подачи расходов на объект по смоделированным периодам в заданные сроки (соответственно поверхностным способом $Q_{\text{пов}}(t) = f(t_{\text{пов}})$, мм/сут, и путем увлажнения почвы грунтовыми водами $Q_{\text{гр}}(t) = f(t_{\text{гр}})$, мм/сут) (блок 17);

- вычисляются суммарные объемы, необходимые для обеспечения регулирования водного режима объекта по смоделированным периодам: поверхностным способом $W_{\text{пов}}$, м³, путем увлажнения грунтовыми водами $W_{\text{гр}}$, м³, и суммарный W_{Σ} , м³ (блок 18):

$$W_{\text{пов}}(t) = f(Q_{\text{пов}}, t),$$

$$W_{\text{гр}}(t) = f(Q_{\text{гр}}, t),$$

$$W_{\Sigma}(t) = W_{\text{пов}}(t) + W_{\text{в/п}}(t);$$

- формируются данные о результатах моделирования для обеспечения возможности их использования на более высоких уровнях моделирования процессов водопользования на мелиоративной СДР: контуров регулирования «Группа водопотребителей», «Участок системы», «Оросительно-обводнительная система» (блок 19).

Для визуальной оценки результатов моделирования водопотребления они отображаются в виде графиков, примеры которых приведены на рисунках 3 и 4.

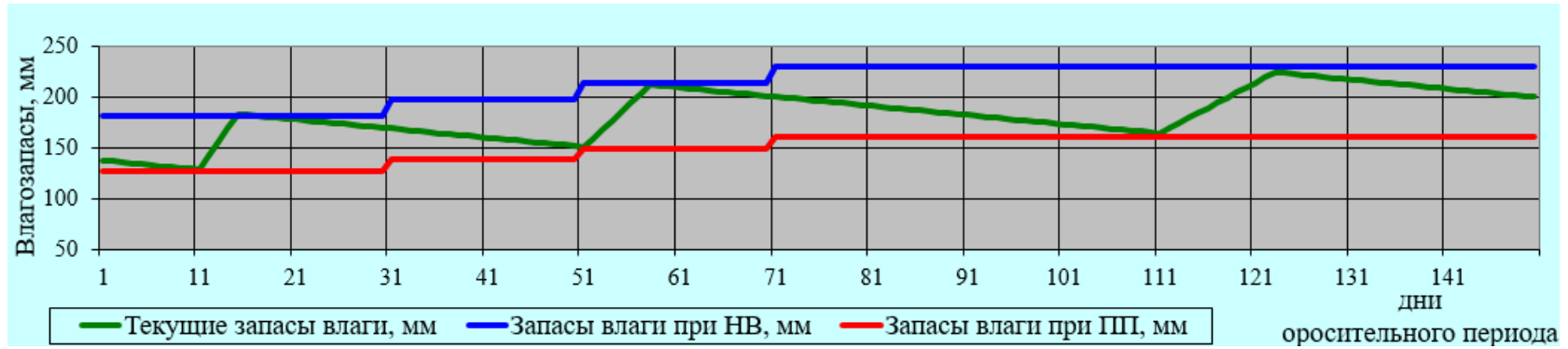


Рисунок 3 – Пример смоделированного графика регулирования влагозапасов на мелиорируемом поле на вегетационный период

Figure 3 – An example of simulated schedule of water moisture content regulation in the reclaimed field for the growing season

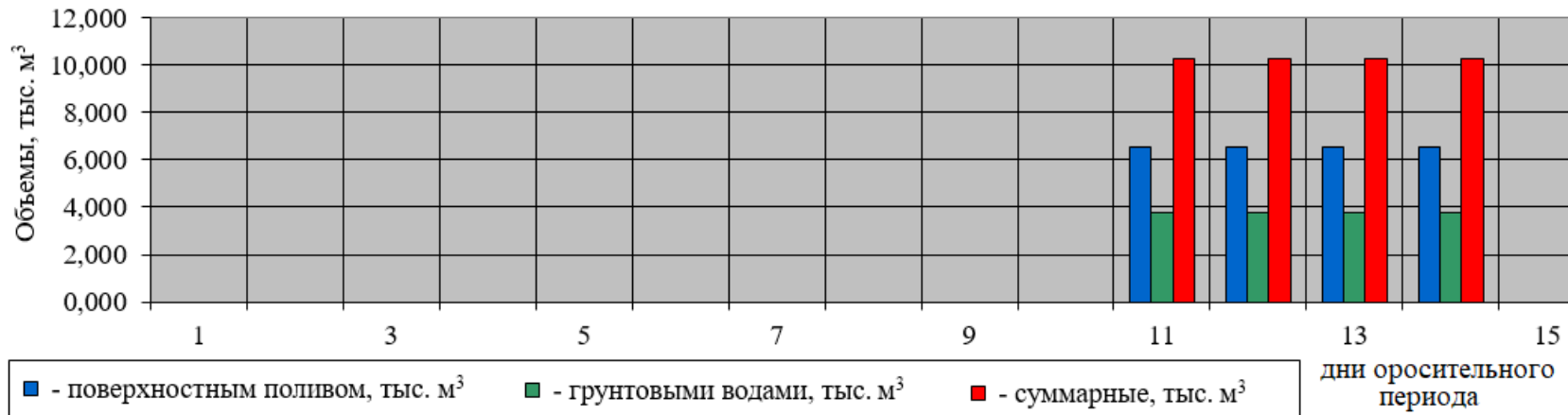


Рисунок 4 – Пример смоделированного графика режимов подачи воды на мелиорируемое поле на вегетационный период

Figure 4 – An example of a simulated graph of water supply regimes to the reclaimed field for the growing season

При разработке программного обеспечения был определен вид главной экранной формы программы моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель». Программа моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» включает в себя блок «Исходные данные», в котором вводятся, а также рассчитываются необходимые данные для дальнейшего моделирования водного режима (фрагмент представлен на рисунке 5). Далее идет блок динамики активных влагозапасов на поле (рисунок 3) и блок моделирования водного режима с суточным интервалом регулирования (фрагмент представлен на рисунке 6).

Выводы. Одним из важнейших вопросов при производстве сельскохозяйственных культур на осушенных землях является поддержание оптимальной влажности почвы, в связи с чем на современном этапе необходимо моделирование режимов водопотребления в типовом контуре регулирования «Водопотребитель», в качестве которого принимается мелиорируемое поле. Задача моделирования в данном случае состоит в контроле запасов влаги в осушаемо-увлажняемом слое почвы и оказании соответствующих регулирующих воздействий (подача или отвод воды) при достижении заданных минимальных и максимальных значений, определяющих потребность в водных ресурсах данного водопотребителя.

Разработанный алгоритм моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле) в мелиоративной СДР включает в себя определение влагозапасов на начало моделирования и диапазон регулирования влагозапасов, водопотребление растений (объект), далее задается режим подачи воды на объект поверхностным способом (дождевание) и (или) путем увлажнения грунтовыми водами (поднятие уровня), определяется дефицит водопотребления и рассчитываются моделируемые влагозапасы. В результате моделирования определяются сроки, расходы (объемы) воды по смоделированным периодам для поверхностной подачи и (или) грунтовыми водами, а также суммарные объемы. Результаты моделирования отображаются в виде графиков регулирования влагозапасов на мелиорируемом поле на вегетационный период.

1	Исходные данные:											
2	Характеристики почвы:						Плотность, т/м ³ =		1,20	Н		
3	Показатели (по декадам)			май			июнь			июль		
4		1(1)	2(2)	3(3)	1(4)	2(5)	3(6)	1(7)	2(8)	3(9)		
5	Прогнозные природно-климатические характеристики:											
6	Среднесуточные температуры, °С	8	14	18	20	21	21	27	26	28		
7	Сумма температур, °С	80	220	400	600	810	1020	1290	1550	1830		
8	Дефицит влажности воздуха, мб	3,00	4,00	5,00	6,00	6,80	7,60	8,00	9,00	9,00		
9	Осадки, мм	11,00	13,00	14,00	16,00	17,00	18,00	16,00	17,00	10,00		
10	Агромелиоративные характеристики сельхозкультуры:						Наименование:		Кукуруза н			
11	Биологический коэффициент	0,50	0,50	0,64	0,64	0,75	0,75	0,83	0,83	0,83		
12	Водопотребление растений, мм	15,00	20,00	32,00	38,40	51,00	57,00	66,40	74,70	74,70		
13	Дефицит водопотребления, мм	9,00	12,00	23,00	27,40	39,00	44,00	55,40	62,70	69,70		
14	Глубина активного слоя почвы, м	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,65	0,65	0,70	0,70		
15	Влажность предполивного порога, % от НВ	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00		
16	Эксплуатационные характеристики мелиорируемого участка:											
17	Площадь поля, га =	75		Расход ДМ, л/с =			90		Продолж. работы ДМ, ч			
18	Активные влагозапасы в почве на начало оросительного периода, мм =						137					

Рисунок 5 – Блок «Исходные данные» программы моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле) на мелиоративной системе двойного регулирования

Figure 5 – Block “Initial data” of water regime simulation program in the control loop “Water consumer” (reclaimed field) on the reclamation system of dual regulation

35 Моделируемый режим орошения сельхозкультуры (с суточным интервалом регулирования):												
36	Месяц											
37	Дата	1,05	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11,05
38	День оросительного периода	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	Запасы влаги при НВ, мм	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
40	Запасы влаги при ПП, мм	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
41	Текущие запасы влаги, мм	137	136	135	134	133	133	132	131	130	129	128
42	Расчетная поливная норма, мм	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
43	Активные влагозапасы на начало суток, мм	11	10	9	8	7	6	5	5	4	3	2
44	Водоподача поверхностным поливом, мм/сут	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7
45	Водоподача грунтовыми водами, мм/сут	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
46	Суммарная водоподача, мм/сут	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7
47	Фактическая поливная норма на конец суток, мм	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
48	Объемы воды, подаваемые на участок:											
49	- поверхностным поливом, тыс. м ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,532
50	- грунтовыми водами, тыс. м ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,750
51	- суммарные, тыс. м ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,282
52	Управляющие воздействия:											
53	Моделируемое время поверхностного полива, ч/сут	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
54	Моделируемая подача воды грунтовыми водами, мм/сут	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5

	- ячейки для ввода исходных данных;	54	- ячейки, выводимые на график;		- ячейки для моделирования режима орошения
	- ячейки с автоматически рассчитываемыми параметрами;	44	- ячейки, выводимые на график;		- ячейки с поясняющим текстом

Рисунок 6 – Блок моделирования с суточным интервалом программы моделирования водных режимов в контуре регулирования «Водопотребитель» (мелиорируемое поле) на мелиоративной системе двойного регулирования

Figure 6 – Simulation block with a daily interval of water regime simulation program in the control loop “Water Consumer” (reclaimed field) in the reclamation system of double regulation

Разработанный алгоритм моделирования водных режимов почв позволяет оперативно проводить регулирование влагозапасов в почве для заданных режимов орошения культур за счет дождевания и (или) подачи грунтовых вод, что в свою очередь повышает точность расчетов объемов воды и создает возможность экономии и рационального распределения водных ресурсов на мелиоративных СДР водного режима. На основе разработанного алгоритма возможна разработка программы для ЭВМ, которая будет востребована для использования различными специалистами агропромышленного комплекса при проектировании и эксплуатации осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем.

Список источников

1. Кожанов А. Л., Воеводин О. В. Программа для расчета параметров поперечных сечений осушительных каналов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 1(77). С. 142–148.
2. Васильев С. М. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. Новосибирск: СФНЦ РАН, 2017. Т. 2. С. 167–169.
3. Кузнецов О. Н., Коржов В. И., Кожанов А. Л. Структура базы данных и программы-справочника по режимам орошения сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 3(79). С. 58–63.
4. What we do? // Lincoln Agritech [Electronic resource]. URL: <https://www.lincolnagritech.co.nz/about/what-we-do> (date of access: 02.12.2021).
5. IRRI MAKER. The best in your field [Electronic resource]. URL: <https://modelmaker.co.za/products/irri-maker/> (date of access: 02.12.2021).
6. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies / C. V. Palau, J. Arviza, I. Balbastre, J. Manzano // Scientia Agricola. 2020. Vol. 77, № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184.
7. Design of sprinkler irrigation subunit of minimum cost with proper operation. Application at corn crop in Spain / F. Carrión, J. Montero, J. M. Tarjuelo, M. A. Moreno // Water Resources Management. 2014. № 14, vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>.
8. Васильев С. М., Кожанов А. Л. Моделирование процесса проектирования элементов осушительной части мелиоративной системы двойного регулирования водного режима // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2019. № 1(01). С. 113–128. URL: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf (дата обращения: 25.11.2021).
9. Юрченко И. Ф. Системы поддержки принятия решений как фактор повышения эффективности управления мелиорацией // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 195–209. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec325-field12.pdf (дата обращения: 29.11.2021).

10. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. Введ. 1992-01-01. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.

11. К вопросу создания электронных баз данных по типовым проектным решениям мелиоративных систем и сооружений / В. Н. Щедрин, В. И. Коржов, А. А. Белоусов, А. В. Шевченко, Т. В. Матвиенко, А. Б. Белоусов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 2(34). С. 121–136. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec974-field12.pdf (дата обращения: 29.11.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-121-136.

12. Режим орошения сельскохозяйственных культур на юге европейской части РСФСР: рекомендации. Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 1986. 64 с.

13. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / Б. Б. Шумаков [и др.]; под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с.

14. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Рыбкин В. Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: учебник. М., 2008. 546 с.

References

1. Kozhanov A.L., Voevodin O.V., 2020. *Programma dlya rascheta parametrov poperechnykh secheniy osushitel'nykh kanalov* [Program for calculating parameters of drainage channels cross-sections]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(77), pp. 142-148. (In Russian).

2. Vasiliev S.M., 2017. *Strategicheskie napravleniya razvitiya meliorativnogo sektora v APK* [Strategic directions for the reclamation sector development in agro-industrial complex]. *Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG: materialy XVI Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Strategic Directions for the Development of Agro-Industrial Complex of the CIS Countries: Proc. of the XVI International Scientific-Practical Conf.]. Novosibirsk, SFNTs RAS, vol. 2, pp. 167-169. (In Russian).

3. Kuznetsov O.N., Korzhov V.I., Kozhanov A.L., 2020. *Struktura bazy dannykh i programmy-spravochnika po rezhimam orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Database and program-directory structure on irrigation schedule of agricultural crops]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(79), pp. 58-63. (In Russian).

4. What we do? Lincoln Agritech, available: <https://www.lincolnagritech.co.nz/about/what-we-do> [accessed 02.12.2021].

5. IRRI MAKER. The best in your field, available: <https://modelmaker.co.za/products/irri-maker/> [accessed 02.12.2021].

6. Palau C.V., Arviza J., Balbastre I., Manzano J., 2020. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies. *Scientia Agricola*, vol. 77, no. 3, 8 p., DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184.

7. Carrión F., Montero J., Tarjuelo J.M., Moreno M.A., 2014. Design of sprinkler irrigation subunit of minimum cost with proper operation. Application at corn crop in Spain. *Water Resources Management*, no. 14, vol. 28, pp. 5073-5089, <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>.

8. Vasiliev S.M., Kozhanov A.L., 2019. [Process modeling of the process of the drainage elements design of reclamation system of dual water regime regulation]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 1(01), pp. 113-128, available: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf [accessed 25.11.2021]. (In Russian).

9. Yurchenko I.F., 2017. [Decision support systems as a factor for improving reclamation management efficiency]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*,

no. 2(26), pp. 195-209, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec325-field12.pdf [accessed 29.11.2021]. (In Russian).

10. *GOST 34.601-90. Informatsionnaya tekhnologiya (IT). Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya* [Information Technology (IT). Standards for Automated Systems. Automated Systems. Creation Stages]. Moscow, Standartinform, 2009, 6 p. (In Russian).

11. Shchedrin V.N., Korzhov V.I., Belousov A.A., Shevchenko A.V., Matvienko T.V., 2019. [On the issue of creating electronic databases by standard design solutions of reclamation systems and structures]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(34), pp. 121-136, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec974-field12.pdf [accessed 29.11.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-121-136. (In Russian).

12. *Rezhim orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na yuge evropeyskoy chasti RSFSR: rekomendatsii* [Regime of Irrigation of Agricultural Crops in the South of European Part of the RSFSR: Recommendations]. Rostov-on-Don, 1986, 64 p. (In Russian).

13. Shumakov B.B. [et al.], 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Reclamation and Water Management. Irrigation: a Reference Book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).

14. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Rybkin V.N., 2008. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh sistem: uchebnyy* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems: Textbook]. Moscow, 546 p. (In Russian).

Информация об авторах

В. Н. Щедрин – главный научный сотрудник, доктор технических наук, академик РАН, профессор;

В. И. Коржов – профессор, кандидат технических наук, профессор;

А. Л. Кожанов – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

В. Б. Черемисова – аспирант.

Information about the authors

V. N. Shchedrin – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor;

V. I. Korzhov – Professor, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. L. Kozhanov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

V. B. Cheremisova – Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.12.2021; одобрена после рецензирования 25.01.2022; принята к публикации 09.02.2022.

The article was submitted 20.12.2021; approved after reviewing 25.01.2022; accepted for publication 09.02.2022.