

ISSN 2313-2248

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научно-практический журнал

Выпуск № 1(85)/2022

Новочеркасск

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал
ФГБНУ «РосНИИПМ»
Издается с июня 1978 года
Выходит четыре раза в год

Выпуск № 1(85)/2022

Январь – март 2022 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор, председатель редакционной коллегии – доктор сельскохозяйственных наук
А. Н. Бабичев

Заместитель главного редактора – кандидат технических наук О. А. Баев

Редакторы: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор сельскохозяйственных наук, доцент И. В. Гурина, доктор технических наук Ю. Е. Домашенко; кандидат технических наук Д. В. Бакланова; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук О. В. Воеводин; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент В. Д. Гостищев; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Монастырский; кандидат технических наук В. Иг. Ольгаренко; кандидат сельскохозяйственных наук С. А. Селицкий; кандидат технических наук В. В. Слабунов; кандидат технических наук А. А. Чураев; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова

Ответственный секретарь – Л. И. Юрина

Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – А. И. Литовченко

Переводчик – В. В. Кульгавюк

Адрес редакции и издателя:

346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Тел.: (8635) 26-65-00, 26-02-02

<http://www.rosniipm.ru/journal/ppeoz>

e-mail: transfer-rosniipm@yandex.ru

**Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство ПИ № ФС 77-82276 от 10 ноября 2021 г.**

Подписано в печать 31.03.2022. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 14,77. Тираж 500 экз. Заказ № 11

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Отпечатано ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 186

ISSN 2313-2248



9 772313 224008

Дата выхода в свет 15.04.2022

Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Всероссийская научно-практическая конференция «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия»

Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Баланс органического вещества и меры по его поддержанию в орошаемых севооборотах	4–10
Бабичев А. Н., Бабенко А. А. Виноград в теплицах: проблемы и перспективы	11–15
Малышева Н. Н., Кочнева А. Е. Мелиоративное состояние рисовых полей и мероприятия по их улучшению в Краснодарском крае	16–22
Селицкий С. А., Балакай Г. Т. Влияние рострегулирующих препаратов на развитие и урожайность сои на орошаемых землях Ростовской области	23–30
Шкура В. Н., Куприянов А. А. Методика прогнозирования планового очертания локальных контуров влажности, формирующихся при капельном поливе пологосклоновых земель.....	31–38
Бабичев А. Н., Недоцукова Ю. И. Влияние различных способов и режимов орошения на урожайность хлопчатника: отечественный и зарубежный опыт	39–45
Стрельбицкая Е. Б., Соломина А. П. Методические подходы к расчету выноса биогенных веществ дренажным стоком для оперативного мониторинга сбросов в водоприемник.....	46–55
Ялалова Г. Х. Автоматизированные информационные системы как фактор повышения эколого-экономической эффективности мелиорации.....	56–61
Малышева Н. Н., Баранов А. А., Каданцев О. Н., Кочнева А. Е. К вопросу управления почвенным плодородием земель сельскохозяйственного назначения в Краснодарском крае	62–69
Гостищев В. Д., Рыжаков А. Н. Алгоритм распределения водных ресурсов в водохозяйственном комплексе Донского магистрального канала	70–77
Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П. Водопотребление картофеля весенней посадки в зависимости от режима орошения и технологии внесения удобрений	78–83
Шкура В. Н., Шевченко А. В. О выращивании живого корма в бассейнах приводохранилищных рыбоводно-мелиоративных комплексов.....	84–93
Манжина С. А. К вопросу использования ГИС-технологий для сопровождения сельскохозяйственного производства и оценки устойчивости к деградации земель агроландшафтов (на примере Ростовской области)	94–104

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Кожанов А. Л. К вопросу разработки типового модуля осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов.....	105–113
--	---------

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Штанько А. С. Количество и расстановка капельных водовыпусков при орошении плодовых садов	114–120
---	---------

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Кузнецова М. В., Маслак О. Н. Особенности гидравлических расчетов работы водозаборов с применением аналитических функций при строительстве гидротехнических сооружений	121–127
--	---------

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Всероссийская научно-практическая конференция «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия»

CONFERENCE PROCEEDINGS

All-russian research and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture”

Научная статья

УДК 631.67:631.582

Баланс органического вещества и меры по его поддержанию в орошаемых севооборотах

Лидия Михайловна Докучаева¹, Рита Евгеньевна Юркова²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

²rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

Аннотация. Цель: определение влияния возделывания сельскохозяйственных культур на баланс органического вещества за ротацию севооборотов. **Материалы и методы:** рассчитан баланс органического вещества на основе данных, полученных при проведении опытов на черноземах обыкновенных Ростовской области при орошении. **Результаты.** Установлено, что накоплению пожнивно-корневых остатков во всех севооборотах способствует возделывание многолетних трав, а именно люцерны. Они составляют от 31,9 т/га в кормовом севообороте до 36,6 т/га в люцерно-кукурузном. Большую роль в накоплении пожнивно-корневых остатков играют также промежуточные культуры в кормовых севооборотах (40,7 и 18,6 т/га), а в зерно кормовых – внесение навоза в дозе 60 т/га после 5 лет ротации севооборота. Они же обеспечили и положительный баланс гумуса, который был выше при основной вспашке, чем при дифференцированной обработке. **Выводы:** возделывание многолетних трав во всех севооборотах, внесение навоза в зерно кормовых способствовали накоплению органического вещества и тем самым сохранению почвенного плодородия.

Ключевые слова: органическое вещество, гумус, севообороты, орошение, многолетние травы, пожнивно-корневые остатки

Original article

Organic matter balance and measures for its maintenance in irrigated crop rotations

Lidiya M. Dokuchayeva¹, Rita Ye. Yurkova²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

²rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

Abstract. Purpose: to determine the impact of crop cultivation on the organic matter balance for crop rotation cycle. **Materials and methods:** the organic matter balance was calculated on the basis of data obtained during experiments on ordinary chernozems of Rostov region under irrigation. **Results.** It has been established that the accumulation of stubble-root residues in all crop rotations is promoted by the cultivation of perennial grasses, namely alfalfa. They range from 31.9 t/ha in fodder crop rotation to 36.6 t/ha in alfalfa-corn one. An important role in the accumulation of stubble-root residues is also played by intermediate crops in fodder crop rotations (40.7 and 18.6 t/ha), and in grain fodder crops – the application of manure at a dose of 60 t/ha after 5 years of crop rotation. They also ensured a positive balance of humus, which was higher during the main plowing than during the differentiated tillage. **Conclusions:** the cultivation of perennial grasses in all crop rotations, the manure application into grain fodder contributed to the accumulation of organic matter and thus the preservation of soil fertility.

Keywords: organic matter, humus, crop rotations, irrigation, perennial grasses, stubble-root residues

Введение. Ведущим фактором воспроизводства органического вещества почвы и, соответственно, плодородия длительно орошаемых земель являются севообороты. Как источник поступления органического вещества в почву в виде корневых и пожнивных остатков, сельскохозяйственные культуры, возделываемые в севообороте, оказывают значительное влияние на баланс гумуса, а также биологическую активность, агрохимические и агрофизические свойства почвы. Разнокачественность поступающих растительных остатков, выражаемая в различном соотношении в них углерода и азота, сопровождается неодинаковой скоростью их гумификации и качеством образуемого гумуса. Следовательно, меняя состав культур и их соотношение в севообороте, а также регулируя количество поступающих в почву растительных остатков, можно в определенной степени влиять на плодородие почвы [1–5].

Наибольшее количество поживно-корневых остатков наблюдается в почве после многолетних бобовых трав, например люцерны (9,34–12,28 т/га), они же оставляют в почве и наибольшее количество азота – 155–175 кг/га. У бобовых культур содержание азота в корнях, определяющее удобрительную ценность пожнивных остатков, достигает 2,0–2,5 %, тогда как у других культур оно не превышает 0,5–1,0 %. Пожнивные остатки люцерны по содержанию в них сухого вещества и азота могут быть приравнены в расчете на 1 га к 30 т навоза, клевер и клеверо-злаковые смеси – к 24 т.

Накопление органического вещества в почве зависит в основном от соотношения между количеством поступающего растительного материала и величиной расхода его вследствие процессов минерализации. При равенстве этих двух величин в почве устанавливается определенное равновесное соотношение процессов минерализации и гумификации органического вещества, т. е. сохраняется примерно постоянное содержание гумуса.

Сохранить баланс гумуса возможно только при соблюдении севооборотов [6, 7]. Существует три типа баланса гумуса: бездефицитный – приход в почву свежего органического вещества полностью уравнивает его расход за определенное время; положительный – приход свежего органического вещества превышает его расход из почвы; отрицательный – приход органического вещества не компенсирует его убыль из почвы [8].

Большинство исследователей придерживается мнения, что внесение только минеральных удобрений в севооборотах не обеспечивает положительного баланса гумуса. Отсюда следует, что для получения положительного баланса гумуса необходимо при ротации севооборота вносить органические удобрения в виде навоза не более

60 т/га. При внесении большей дозы образуются токсичные недоокисленные вещества, и почва пополняется загрязняющими веществами, что сказывается на развитии и в целом урожайности возделываемых культур [9]. Очень важно для обогащения почвы свежим органическим веществом и повышения содержания гумуса насыщать севообороты многолетними травами и пожнивными культурами. Зерновые культуры, надземная масса которых полностью используется в пищу человека или идет на корм животным, – наиболее ограниченные поставщики органического вещества в почву.

Многолетние же травы, благодаря задержанию, по влиянию на баланс органического вещества в почве максимально приближаются к естественным фитоценозам, а бобовые, кроме этого, за счет симбиотической азотфиксации вовлекают в круговорот дополнительное количество азота, и после их отмирания почва обогащается доступными для последующих культур формами азота.

Цель исследований – определить влияние возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте на баланс органического вещества.

Материалы и методы. В работе использованы данные, полученные в опытах на черноземах обыкновенных в Багаевском районе Ростовской области.

Для расчета баланса гумуса в почве севооборота определялась ежегодная минерализация гумуса и восполнение его за счет пожнивных и корневых остатков по каждому полю севооборота и в среднем по севообороту. Это наиболее упрощенный метод, в котором баланс гумуса определяется по формуле [10]:

$$БГ = Г - М,$$

где БГ – баланс гумуса, т/га (+ или –);

Г – выход гумуса из пожнивно-корневых остатков, т/га;

М – минерализация (потери) гумуса, т/га.

Выход гумуса из пожнивных и корневых остатков разных культур определяли по формуле [9]:

$$Г = ПКО \cdot K_r,$$

где Г – выход гумуса из пожнивно-корневых остатков, т/га;

ПКО – выход пожнивно-корневых остатков, т/га;

K_r – коэффициент гумификации [11].

Масса пожнивных и корневых остатков разных культур определялась по урожайности возделываемых культур [12].

Минерализация (потери гумуса) определялась по формуле:

$$М = У \cdot K_m,$$

где М – минерализация гумуса, т/га;

У – урожайность возделываемой культуры, т/га;

K_m – коэффициент минерализации гумуса [10].

Баланс гумуса рассчитывался за ротацию следующих севооборотов:

- 1) кормовой (промежуточные культуры 57,2 %);
- 2) кормовой (промежуточные культуры 28,6 %);
- 3) зернокормовой (люцерно-кукурузный);
- 4) зернокормовой.

В течение 3 лет и двух укосов четвертого года во всех севооборотах возделывалась люцерна. Севообороты исследовались на фоне обычной вспашки и дифференцированной (обычная вспашка под люцерну и подъем пласта и плоскорезная обработка с пятого года на глубину от 10–12 до 14–16 см). В зернокормовых севооборотах внесение навоза в дозе 60 т/га осуществлялось после 5 лет ротации севооборотов в сравнении с минеральными удобрениями.

Результаты и обсуждения. Наши исследования показали, что четырехлетнее возделывание люцерны в орошаемом клине является необходимым условием обогащения почвы органическими остатками и повышения обеспеченности почв азотом. Мелиорирующий эффект люцерны объясняется следующими ее достоинствами:

- быстрее других культур весной прикрывает почву сплошным травяным покровом;
- быстро отрастает после укосов, что обеспечивает хорошее затенение почвы в течение вегетации;
- обладает мощной корневой системой и высокой транспирационной способностью, что препятствует подъему грунтовых вод;
- при густом травостое способствует очищению полей от сорняков.

На черноземах обыкновенных в условиях орошения наибольшее накопление пожнивно-корневых остатков наблюдалось в кормовом севообороте с насыщением промежуточными культурами 57,2 % (при обычной вспашке – 101,5 т/га, при дифференцированной обработке – 82,5 т/га), а следовательно, он обеспечил и положительный баланс гумуса (соответственно +6,3 и +5,8 т/га) (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Пожнивно-корневые остатки за ротацию севооборотов по системе обработки почв (слой 0–50 см)

Table 1 – Stubble-root residues for the crop rotation cycle according to the tillage system (layer 0–50 cm)

В т/га

Севооборот, звено	Всего	В т. ч. по культурам						
		Много- летние травы	Ку- куру- за	Ози- мые	Соя	Яро- вые	Про- межу- точные	Злако- бобовая смесь
1 Кормовой (проме- жуточных культур 57,2 %)	<u>101,5</u> 82,5	<u>31,9</u> 31,9	–	<u>10,1</u> 9,5	–	–	<u>40,7</u> 25,1	<u>18,7</u> 16,0
2 Кормовой (проме- жуточных культур 28,6 %)	<u>80,2</u> 66,2	<u>33,2</u> 30,3	<u>11,8</u> 11,2	–	<u>4,2</u> 4,0	<u>3,2</u> 3,0	<u>18,6</u> 8,7	<u>9,2 оз. рожь</u> 9,0
3 Зернокормовой (лю- церно-кукурузный)	<u>74,3</u> 58,2	<u>36,6</u> 33,6	<u>34,5</u> 21,6	–	–	<u>3,2</u> 3,0	–	–
4 Зернокормовой	<u>65,5</u> 50,3	<u>32,6</u> 25,4	<u>13,4</u> 12,4	5,77	<u>5,8</u> 5,3	<u>4,3</u> 4,0	<u>3,6</u> 3,2	–

Примечание – Числитель – обычная вспашка, знаменатель – дифференцированная обработка.

Таблица 2 – Баланс гумуса за ротацию севооборотов

Table 2 – Humus balance for crop rotation cycle

В т/га

Севооборот	Поступи- ло в поч- ву расти- тельных остатков	Образова- ние гумуса из расти- тельных остатков	Мине- рализа- ция гу- муса за ротацию	Баланс гумуса (+, –)	Количество органических удобрений, необходимых для бездефицит- ного баланса
1	2	3	4	5	6
1 Кормовой (промежуточ- ных культур 57,2 %)	<u>101,5</u> 82,5	<u>15,7</u> 14,5	<u>9,4</u> 9,0	<u>+6,3</u> +5,8	– / –

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
2 Кормовой (промежуточных культур 28,6 %)	$\frac{80,2}{66,2}$	$\frac{14,4}{11,9}$	$\frac{11,8}{11,9}$	$\frac{+2,6}{0}$	– / –
3 Зернокармовой (люцерно-кукурузный):					
- минеральные удобрения	$\frac{74,3}{58,2}$	$\frac{13,4}{10,4}$	$\frac{12,5}{12,3}$	$\frac{+0,9}{-1,9}$	– / 14
- навоз 60 т/га	$\frac{80,3}{64,4}$	$\frac{22,8}{19,7}$	$\frac{13,8}{13,2}$	$\frac{+9,6}{+6,5}$	– / –
4 Зернокармовой:					
- минеральные удобрения	$\frac{65,5}{50,3}$	$\frac{11,8}{9,0}$	$\frac{11,8}{11,6}$	$\frac{0}{-2,6}$	– / 19
- навоз 60 т/га	$\frac{73,5}{52,4}$	$\frac{21,5}{17,7}$	$\frac{13,4}{11,7}$	$\frac{+8,1}{+6,0}$	– / –
Примечание – Числитель – обычная вспашка, знаменатель – дифференцированная обработка.					

Этому способствовало возделывание как люцерны, обеспечивающей около 30 т/га пожнивно-корневых остатков в 50-сантиметровом слое, так и промежуточных культур, пожнивно-корневые остатки которых при обычной вспашке составили 40,7 т/га, при дифференцированной – 25,1 т/га.

Из данных таблиц 1 и 2 также видно, что в зернокармовых севооборотах накопление пожнивно-корневых остатков и положительный баланс гумуса обеспечивается не только возделыванием многолетних трав, но и внесением 60 т/га навоза. Внесение только минеральных удобрений при обычной вспашке дает незначительный результат в накоплении гумуса. На фоне дифференцированной обработки в зернокармовых севооборотах при внесении только минеральных удобрений приход органического вещества не компенсирует его убыль из почвы, т. е. формируется отрицательный баланс гумуса. Для создания бездефицитного баланса гумуса в зернокармовых севооборотах на фоне минеральных удобрений требуется за ротацию внести от 14 до 19 т/га навоза.

Выводы. Накоплению пожнивно-корневых остатков во всех севооборотах способствует возделывание многолетних трав, а именно люцерны. Они составляют от 31,9 т/га в кормовом севообороте до 36,6 т/га в люцерно-кукурузном. Большую роль в накоплении пожнивно-корневых остатков играют также промежуточные культуры в кормовых севооборотах (40,7 и 18,6 т/га), а в зернокармовых – внесение навоза в дозе 60 т/га после 5 лет ротации севооборота. Они же обеспечили и положительный баланс гумуса, который был выше при основной вспашке, чем при дифференцированной обработке.

Список источников

1. Оценка влияния культур и звеньев севооборотов на количество органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками, на черноземах южных Оренбургской области / А. В. Халин, Ф. Г. Бакиров, Ю. М. Нестеренко, Д. Г. Поляков // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН [Электронный ресурс]. 2016. № 1. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> (дата обращения: 12.01.2022).

2. Новиков А. А., Кисаров О. П. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2012. № 78(04). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/36.pdf> (дата обращения: 12.01.2022).

3. Свечников А. К. Накопление пожнивно-корневых остатков и питательных элементов в кормовых севооборотах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20(6). С. 613–622.

4. Замятин С. А., Измestьев В. М. Влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборотов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. № 1(5). С. 18–21.

5. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Опыт использования растительных остатков в почвах Нечерноземной зоны России (обзор) // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1(17). С. 88–97.

6. Гумбаров А. Д., Долобешкин Е. В. Сравнительный анализ баланса гумуса под зерновыми и многолетними бобовыми культурами пашни // Новые технологии. 2019. Вып. 2(48). С. 217–227. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10221.

7. Новиков А. А. Полевые севообороты и их влияние на баланс гумуса в условиях черноземов обыкновенных Ростовской области // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2019. Кн. 1. С. 232–233.

8. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 322 с.

9. Скуратов Н. С., Докучаева Л. М., Шалашова О. Ю. Использование и охрана орошаемых черноземов. М.: Мелиоводинформ, 2001. 246 с.

10. Рыжих Л. Ю., Липатников А. И. Расчеты доз применения минеральных удобрений в севообороте. Казань: Каз. ун-т, 2018. 19 с.

11. Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Росагропромиздат, 1988. 255 с.

12. Попов П. Д., Хохлов В. И., Егоров А. А. Органические удобрения: справочник. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с.

References

1. Khalin A.V., Bakirov F.G., Nesterenko Yu.M., Polyakov D.G., 2016. *Otsenka vliyaniya kul'tur i zven'ev sevooborotov na kolichestvo organicheskogo veshchestva, postupyushchego v pochvu s rastitel'nyimi ostatkami, na chernozemakh yuzhnykh Orenburgskoy oblasti* [Assessment of cultures and links crop rotations on organic matter enters the soil with plant residues on southern chernozems in Orenburg region]. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN* [Bulletin of Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], no. 1, available: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> [accessed 12.01.2022]. (In Russian).

2. Novikov A.A., Kisarov O.P., 2012. [Substantiation of the role of root and crop residues in agrocenoses]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematicheskij setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 78(04), available: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/36.pdf> [accessed 12.01.2022]. (In Russian).

3. Svechnikov A.K., 2019. *Nakoplenie pozhnivno-kornevykh ostatkov i pitatel'nykh elementov v kormovykh sevooborotakh* [Accumulation of root-stubble residues and nutrients in fodder crop rotations]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agrarian Science of the Euro-North-East], no. 20(6), pp. 613-622. (In Russian).

4. Zamyatin S.A., Izmestiev V.M., 2016. *Vliyanie kul'tur sevooborota na srednegodovoye postuplenie rastitel'nykh ostatkov za rotatsiyu sevooborotov* [Influence of crop rotation crops on the average annual supply of plant residues for crop rotation]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* [Bulletin of Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences"], no. 1(5), pp. 18-21. (In Russian).

5. Mudrykh N.M., Samofalova I.A., 2017. *Opyt ispol'zovaniya rastitel'nykh ostatkov v pochvakh Nechernozemnoy zony Rossii (obzor)* [On the experience of the use of plant residues in soils of Non-Black zone of Russia (review)]. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Bulletin], no. 1(17), pp. 88-97. (In Russian).

6. Gumbarov A.D., Dolobeshkin E.V., 2019. *Sravnitel'nyy analiz balansa gumusa pod zernovymi i mnogoletnimi bobovymi kul'turami pashni* [Comparative analysis of humus balance under cereal and perennial legume crops of a farmland]. *Novye tekhnologii* [New Technologies], iss. 2(48), pp. 217-227, DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10221. (In Russian).

7. Novikov A.A., 2019. *Polevye sevooboroty i ikh vliyanie na balans gumusa v usloviyakh chernozemov obyknovennykh Rostovskoy oblasti* [Field crop rotations and their influence on the humus balance under the conditions of ordinary chernozems of Rostov region]. *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sb. materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. of XIV International Scientific-Practical Conference]. Barnaul, b. 1, pp. 232-233. (In Russian).

8. Tyurin I.V., 1965. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol' v plodorodii* [Soil Organic Matter and its Role in Fertility]. Moscow, Nauka Publ., 322 p. (In Russian).

9. Skuratov N.S., Dokuchaeva L.M., Shalashova O.Yu., 2001. *Ispol'zovanie i okhrana oroshaemykh chernozemov* [Use and Protection of Irrigated Chernozems]. Moscow, Meliovodinform Publ., 246 p. (In Russian).

10. Ryzhykh L.Yu., Lipatnikov A.I., 2018. *Raschety doz primeneniya mineral'nykh udobreniy v sevooborote* [Calculations of Mineral Fertilizers Doses in Crop Rotation]. Kazan, Kazan University Publ., 19 p. (In Russian).

11. Vasiliev V.A., Filippova N.V., 1988. *Spravochnik po organicheskim udobreniyam* [Handbook of Organic Fertilizers]. 2nd ed., rev., Moscow, Rosagropromizdat Publ., 255 p. (In Russian).

12. Popov P.D., Khokhlov V.I., Egorov A.A., 1988. *Organicheskie udobreniya: spravochnik* [Organic Fertilizers: a Reference Book]. Moscow, Agropromizdat Publ., 207 p. (In Russian).

Информация об авторах

Л. М. Докучаева – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

Р. Е. Юркова – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

L. M. Dokuchayeva – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

R. Ye. Yurkova – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

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 27.01.2022; одобрена после рецензирования 03.02.2022; принята к публикации 16.02.2022.

The article was submitted 27.01.2022; approved after reviewing 03.02.2022; accepted for publication 16.02.2022.

Обзорная статья

УДК 634.8:631.544.4

Виноград в теплицах: проблемы и перспективы

Александр Николаевич Бабичев¹, Алексей Александрович Бабенко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹Babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²al.al.al.1980@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Аннотация. Цель: обосновать возможность возделывания тепличного винограда, определить основные проблемы при возделывании и перспективы производства раннего винограда на юге нашей страны в курортно-туристических зонах. **Обсуждение.** Возделывание столовых сортов винограда в теплицах известно еще с XVI в., так, в Ливии виноград в тепличной культуре сохранился с того времени. В настоящее время тепличное виноградарство распространено в Нидерландах, Бельгии, Италии, Франции, Польше, Болгарии и Японии. В России данная технология известна еще с XVIII в. В результате исследований проанализированы показатели урожайности сортов раннего столового винограда при возделывании их в пленочных теплицах в России и за рубежом. **Выводы.** Основной проблемой данной технологии является высокая стоимость создания теплиц, посадочного материала и начало окупаемости затрат на организацию производства. Для повышения рентабельности производства рекомендуется использовать в первые годы вегетации культурооборот растений. Наиболее перспективными для этого являются овощные и декоративные культуры. Преимущество раннего, дорогостоящего винограда заключается в полном отсутствии болезней и вредителей и высоком качестве полученной продукции. Наиболее перспективные районы для возделывания тепличного винограда – курортно-туристические зоны юга нашей страны, к которым относятся Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края и Республика Крым.

Ключевые слова: виноград, теплица, столовые сорта, рентабельность, культурооборот, урожайность

Review article

Grapes in greenhouses: problems and prospects

Alexander N. Babichev¹, Alexey A. Babenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹Babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²al.al.al.1980@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Abstract. Purpose: to substantiate the possibility of growing greenhouse grapes, to identify the main issues in cultivation and the prospects for early grapes production in the south of our country in resort and tourist areas. **Discussion.** The cultivation of table grape varieties in greenhouse has been known since the 16th century, for example, in Libya, grapes in greenhouse culture have been preserved since that time. At present, greenhouse viticulture is widespread in the Netherlands, Belgium, Italy, France, Poland, Bulgaria and Japan. In Russia, this technology has been known since the 18th century. As a result of the research, the yield indicators of early table grape varieties were analyzed when they were cultivated in film greenhouses in Russia and abroad. **Conclusions.** The main problem of this technology is the high cost of creating greenhouses, plant material and the beginning of cost recovery for or-

ganizing production. To increase the profitability of production, it is recommended to use crop rotation in the first years of the growing season. The most promising for this are vegetable and decorative plants. The advantage of early, expensive grapes is the complete absence of diseases and pests and the high quality of the products obtained. The most promising areas for greenhouse grape cultivation are the resort and tourist areas of the south of our country, which include Rostov region, Krasnodar and Stavropol Territories and the Republic of Crimea.

Keywords: grapes, greenhouse, table varieties, profitability, crop rotation, productivity

Введение. В условиях рыночной экономики получение ранней продукции является одним из способов повышения рентабельности сельскохозяйственного производства. Особенно это заметно в санаторно-курортных зонах нашей страны, когда в летний период увеличивается поток туристов и повышается рынок сбыта ранней сельскохозяйственной продукции. Также стоимость ранней продукции заметно выше, чем при массовом появлении продукции, так как спрос на продукцию нивелируется поставкой экспортной продукции из стран с более благоприятным климатом.

Одной из таких сельскохозяйственных культур, потребляемой в свежем виде, является столовый виноград. Довольно часто у высокопродуктивных его сортов длительный вегетационный период, и массовое созревание происходит в конце курортного сезона, когда его потребление в свежем виде уменьшается и происходит снижение цены. Возделывание раннеспелых столовых сортов винограда не позволяет получать высокоурожайную продукцию надлежащего качества, что в свою очередь также сказывается на рентабельности производства.

Ведущим регионом нашей страны с благоприятными природно-климатическими условиями для возделывания столовых сортов винограда является Республика Крым, которая издавна славилась своими плантациями как столовых, так и технических сортов винограда. К тому же Крым является одной из любимых и предпочитаемых курортно-туристических зон нашей страны в весенне-осенний период.

Обсуждение. Одним из способов решения рассматриваемой проблемы является возделывание столовых сортов винограда в теплицах. Данная технология известна еще с XVI в., так, в Ливии виноград в тепличной культуре сохранился с того времени. В настоящее время тепличное виноградарство распространено в Нидерландах, Бельгии, Италии, Франции, Польше, Болгарии и Японии. В России данная технология известна еще с XVIII в. [1]. Изучением технологии возделывания занимались как отечественные, так и зарубежные ученые еще в середине прошлого века в различных природно-климатических зонах.

В. В. Логачев проводил исследования тепличного винограда в условиях Московской области на базе учхоза «Отрадное» Тимирязевской сельскохозяйственной академии в 1964–1966 гг. на тепличных сортах винограда Фостер и Франкенталь 1952 г. посадки. Его исследованиями было установлено, что в теплице интенсивнее проходят все процессы (ростовые, биохимические и генеративные) и, как следствие, вегетационный период сдвигался на две-четыре недели. Также он отмечает, что при начале выгонки в январе первую продукцию столового винограда ранних сортов можно получить уже в мае-июне. Наиболее критическим периодом в теплицах является конец июля – начало августа, когда наблюдаются максимальные температуры и происходит повреждение листовой поверхности виноградных растений. Отдельно он выделяет, что для повышения рентабельности производства необходимо внедрение в культурооборот виноградных теплиц цветочных растений, таких как тюльпаны и хризантемы.

В. В. Логачевым было предложено возделывать столовые сорта винограда в районах Сибири и Дальнего Востока, где наблюдается высокая интенсивность солнечного света в зимний период и имеются в наличии дешевые источники обогрева теплиц, такие как термальные источники и отходы тепла крупных промышленных предприятий.

Также он рекомендовал возделывать культуру винограда в пленочных теплицах юга СССР для снабжения ранней продукцией курортов, санаториев, пансионатов и северных районов страны. Автором было установлено, что производство винограда в пленочных теплицах значительно снижает себестоимость и ускоряет созревание винограда [2].

В настоящее время в Республике Крым имеется ряд предпринимателей, занимающихся возделыванием винограда столовых сортов как в пленочных, так и в остекленных теплицах. А. П. Дикань и др. в своих работах [3–5] указывают на развитие тепличного виноградарства в Крыму, которое началось с 2008 г. и направлено на получение столовых сортов раннего срока созревания. Авторами проанализированы экономические составляющие производства винограда в теплицах. Так, затраты на строительство пленочных теплиц составляют в ценах 2016 г. около 1 тыс. руб./м². В среднем урожайность по Республике Крым составила более 10 т/га, максимальная около 30 т/га, что соответствует 1–3 кг/м². Оптовая цена винограда составила в зависимости от срока созревания, сорта и его качества 150–400 руб./кг. Для повышения рентабельности производства А. П. Дикань и др. рекомендуют использовать культурооборот в виноградных теплицах, который почти в 2 раза увеличивает чистый доход в сравнении с монокультурой. В качестве сельскохозяйственных культур, возделываемых в виноградных теплицах, рассмотрены зеленные культуры, кабачки, сладкий перец, укроп, томат и капуста. Наилучшие результаты были получены при возделывании ранней капусты и винограда, рентабельность составила 333,3 %.

Также авторами проанализированы показатели урожайности наиболее перспективных сортов раннего столового винограда при возделывании их в пленочных теплицах Бериславского района Херсонской области. Урожайность составила у сорта Аркадия 128,9–692,3 ц/га, а у Ливии – 306,1–810,8 ц/га по годам исследований, при этом рентабельность производства варьировала от 180,0 до 458,1 % [3–5].

На юге России сотрудниками Донского государственного аграрного университета С. В. Майбородиным и Д. И. Жиренко проводятся также исследования, посвященные изучению культуры винограда в тепличных условиях [6]. Ими предлагается необходимый температурный режим в зависимости от фазы вегетации культуры, который изменяется от 0 до 5 °С в период покоя, постепенно увеличиваясь в период распускания почек до 10–14 °С днем и 8–10 °С ночью, затем в период массового созревания винограда до 28–30 °С днем и 18–20 °С ночью.

Авторами также рассмотрен режим орошения тепличного винограда, который заключается в поддержании влажности в теплицах на рекомендованном уровне. В период массового цветения и созревания ягод поливы прекращают, так как повышенная влажность воздуха в эти фазы вегетации негативно сказывается на качестве урожая (низкая опыляемость и растрескивание ягод). Последний обильный полив проводят после уборки урожая перед периодом покоя.

Большое внимание авторы уделяют строительству теплиц, схеме посадки и формированию куста винограда в теплицах, которые в совокупности позволяют сохранить от заморозков кусты, сберечь растения от вредителей и болезней и получить высококачественную продукцию.

С. В. Майбородин и Д. И. Жиренко утверждают, что культивировать в тепличных условиях можно практически любые сорта винограда, но лучше всего произрастают среднерослые и слабоветвистые сорта столового винограда. Лучшими, по их утверждению, являются сорта с ранним периодом созревания, такие как Аркадия, Белое чудо, Кишмиш Потапенко, Лора (или Флора), Прозрачный и др. [6].

Болгарскими учеными А. Ивановым и В. Ройчевым [7] изучен опыт выращивания десертных сортов винограда в пленочных теплицах в условиях юга Болгарии в 2017–2018 гг. Ими установлено, что более высокая температура в пленочных тепли-

цах в весеннее время вызвала созревание зимних глазков винограда на три недели раньше, чем в открытом грунте. Авторами отмечено, что температурный режим практически полностью позволил исключить поражения растений грибковыми заболеваниями и обработку фунгицидами. Результаты исследования показали, что при выращивании десертных сортов винограда Виктория, Италия и Ред глоуб в пленочной теплице наступление фаз вегетации происходит значительно быстрее, это позволяет начать формирование кустов уже в первый год после высадки черенков, а уже на второй и третий годы возделывания собирать урожай. Во второй год было получено около 3–5 кг с одного куста, на третий уже 7–10 кг. Также установлено увеличение возможностей для плодоношения при применении обрезки с повышенной нагрузкой кустов глазками и большом температурном ресурсе в пленочной теплице.

Выводы. Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают возможность возделывания столовых сортов винограда как в пленочных, так и в зимних теплицах для получения более ранней продукции, обладающей высокой ценой.

Основная проблема данной технологии – высокая стоимость создания теплиц, посадочного материала и начало окупаемости затрат на организацию производства. Начало полноценной уборки урожая наступает на третий год возделывания. Для повышения рентабельности производства рекомендуется использовать в первые годы вегетации культурооборот растений. Наиболее перспективны овощные и декоративные культуры.

Несомненным преимуществом виноградных теплиц является получение раннего, дорогостоящего винограда, практически полное отсутствие болезней и вредителей и высокое качество полученной продукции.

Наиболее перспективные районы для возделывания тепличного винограда – курортно-туристические зоны юга нашей страны, к которым относятся Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края и Республика Крым.

Список источников

1. Виноград в защищенном грунте [Электронный ресурс]. URL: https://sobstvennik.org/plant_growing/viticulture/16.php (дата обращения: 02.02.2022).
2. Логачев В. В. Агробиологическая характеристика тепличного винограда в условиях Московской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.08. М., 1974. 20 с.
3. Дикань А. П. Выращивание столового винограда в теплицах как новое направление в виноградарстве Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Крыма. 2016. № 8(171). С. 5–13.
4. Дикань А. П. Продуктивность сортов винограда Аркадия и Ливия в пленочных теплицах // Виноградарство и виноделие. 2014. Т. 44. С. 66–69.
5. Дикань А. П., Ящук А. Д. Технология возделывания столового винограда в пленочных обогреваемых теплицах (производственный опыт) // Известия сельскохозяйственной науки Крыма. 2018. № 14(177). С. 53–63.
6. Майбородин С. В., Жиренко Д. И. Особенности выращивания винограда в условиях закрытого грунта // Передовое развитие современной науки: опыт, проблемы, прогнозы: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2020. С. 88–93.
7. Иванов А., Ройчев В. Выращивание столовых сортов винограда в теплице, накрытой полиэтиленовой пленкой // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21, № 1(107). С. 27–30.

References

1. *Vinograd v zashchishchennom grunte* [Grapes in protected ground], available: https://sobstvennik.org/plant_growing/viticulture/16.php [accessed 02.02.2022]. (In Russian).
2. Logachev V.V., 1974. *Agrobiologicheskaya kharakteristika teplichnogo vinograda*

v usloviyakh Moskovskoy oblasti. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk [Agrobiological characteristics of greenhouse grapes under the conditions of Moscow region. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Moscow, 20 p. (In Russian).

3. Dikan A.P., 2016. *Vyrashchivanie stolovogo vinograda v teplitsakh kak novoe napravlenie v vinogradarstve Kryma* [Growing table grapes in greenhouses as a new trend in viticulture of the Crimea]. *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Kryma* [Transactions of Agricultural Science of the Crimea], no. 8(171), pp. 5-13. (In Russian).

4. Dikan A.P., 2014. *Produktivnost' sortov vinograda Arkadiya i Liviya v plenochnykh teplitsakh* [Productivity of grape varieties Arcadia and Livia in film greenhouses]. *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking], vol. 44, pp. 66-69. (In Russian).

5. Dikan A.P., Yashchuk A.D., 2018. *Tekhnologiya vzdelyvaniya stolovogo vinograda v plenochnykh obogrevaemykh teplitsakh (proizvodstvennyy opyt)* [Technology of cultivation of table grapes in heated film greenhouses in Crimea (production experience)]. *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoy nauki Kryma* [Transactions of Agricultural Science of Crimea], no. 14(177), pp. 53-63. (In Russian).

6. Mayborodin S.V., Zhirenko D.I., 2020. *Osobennosti vyrashchivaniya vinograda v usloviyakh zakrytogo grunta* [Features of growing grapes in closed ground conditions]. *Peredovoe razvitie sovremennoy nauki: opyt, problemy, prognozy: sb. st. II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Advanced Development of Modern Science: Experience, Problems, Forecasts: Coll. works of II International Scientific-Practical Conference]. Petrozavodsk, pp. 88-93. (In Russian).

7. Ivanov A., Roichev V., 2019. *Vyrashchivanie stolovykh sortov vinograda v teplitse, nakrytoy polietilenovoy plenкой* [Growing table grape varieties in a greenhouse covered with polyethylene film]. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [Magarach. Viticulture and Winemaking], vol. 21, no. 1(107), pp. 27-30. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

А. А. Бабенко – младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

A. A. Babenko – Junior Researcher.

Вклад авторов: Александр Н. Бабичев проанализировал материалы и написал статью.

Алексей А. Бабенко подобрал материал и участвовал в написании статьи.

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

Author's contribution: Alexander N. Babichev has analyzed the materials and written the article. Alexey A. Babenko has selected the material and participated in writing the 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 10.02.2022; одобрена после рецензирования 25.02.2022; принята к публикации 09.03.2022.

The article was submitted 10.02.2022; approved after reviewing 25.02.2022; accepted for publication 09.03.2022.

Научная статья

УДК 631.6.02

**Мелиоративное состояние рисовых полей и мероприятия
по их улучшению в Краснодарском крае**

Надежда Николаевна Малышева¹, Анна Евгеньевна Кочнева²

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, 89284200126@mail, <https://orcid.org/0000-0003-1297-8236>

²Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Краснодарскому краю, Краснодар, Российская Федерация, kochnieva.anna@mail.ru

Аннотация. Цель: анализ использования земельных ресурсов рисовых оросительных систем в Красноармейском районе Краснодарского края и выявление мероприятий, направленных на улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель. **Материалы и методы.** Использованы методы анализа и синтеза. Обследования мелиоративного состояния земель выполнены в соответствии с административным регламентом Минсельхоза России. В работе проведен аналитический обзор текущего состояния мелиоративных систем, использования их для производства риса. Проведено изучение агро-мелиоративного состояния орошаемых земель на опытном участке. Рассмотрены экологические аспекты природопользования при ведении сельскохозяйственного производства: использование средств химизации при возделывании риса и проведении химической мелиорации земель, утилизации растительных остатков, негативное воздействие на окружающую природную среду. **Результаты:** выявлено, что орошаемые земли на опытном участке находятся в удовлетворительном состоянии, но существуют локальные участки, на которых необходимы комплексные мероприятия по улучшению состояния почв; выделены площади с хорошим, удовлетворительным и неудовлетворительным состоянием; определены показатели состояния орошаемых земель рисовых систем; разработан комплекс мероприятий, позволяющих улучшить показатели плодородия почвы. **Выводы:** прикладные результаты работы позволяют внести предложения, направленные на увеличение эффективности сельскохозяйственного производства посредством повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель.

Ключевые слова: рис, мелиоративное состояние, грунтовые воды, засоление, севооборот, рисовые системы, орошаемые земли

Original article

**Reclamation state of rice fields and measures
for their improvement in Krasnodar Territory**

Nadezhda N. Malysheva¹, Anna Ye. Kochneva²

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, 89284200126@mail, <https://orcid.org/0000-0003-1297-8236>

²Department of Land Reclamation and Agricultural Water Supply for the Krasnodar Territory, Krasnodar, Russian Federation, kochnieva.anna@mail.ru

Abstract. Purpose: to analyze the land resource management of rice irrigation systems in Krasnoarmeisky district Krasnodar Territory and to identify measures aimed at improving the reclamation state of irrigated lands. **Materials and methods.** Methods of analysis and synthesis are used. Land reclamation surveys were carried out in accordance with the admin-

istrative regulations of the Russian Ministry of Agriculture. The analytical review of the current state of reclamation systems, their use for rice production is provided. A study of the agro-reclamation state of irrigated lands on the experimental site was carried out. The environmental aspects of nature engineering in agricultural production are considered: the use of chemicals in rice cultivation and chemical land reclamation, the utilization of plant residues and the negative impact on the environment. **Results:** it was revealed that the irrigated lands on the experimental site are in a satisfactory condition, but there are local areas where complex measures to improve the soil condition are needed; the areas with a good, satisfactory and unsatisfactory condition are allocated; indicators of the irrigated land state of rice systems are determined; a set of measures to improve soil fertility has been developed. **Conclusions:** the applied results of the work allow making proposals aimed at increasing the efficiency of agricultural production by increasing crop productivity and improving the reclamation state of irrigated lands.

Keywords: rice, reclamation state, groundwater, salinization, crop rotation, rice systems, irrigated lands

Введение. Краснодарский край занимает ведущие позиции в России по производству продукции растениеводства, несмотря на то, что относится к зоне рискованного земледелия. В настоящее время в регионе сосредоточено порядка 30 основных сельхозпредприятий, занимающихся выращиванием и реализацией риса, в восьми районах края [1]. Основные рисоводческие хозяйства расположены в четырех муниципальных образованиях края – Красноармейский, Славянский, Абинский, Калининский районы. На оставшиеся Темрюкский и Крымский районы, а также муниципальное образование г. Краснодар и Северский район приходится порядка 6–7 % посевов.

Дефицит влаги в период вегетации сельскохозяйственных культур приводит к снижению продуктивности растений, в некоторых случаях к гибели посевов. В настоящее время в Краснодарском крае лишь 60,1 % площадей рисовых оросительных систем (РОС) находятся в хорошем состоянии, 20,6 % – в удовлетворительном, а 19,3 % – в неудовлетворительном состоянии по засолению почв и высокому уровню стояния грунтовых вод.

В этой связи актуальность проведения исследований, посвященных улучшению мелиоративного состояния рисовых полей в Краснодарском крае, очевидна, они направлены на устойчивое развитие сельскохозяйственного производства на Кубани посредством мелиорации, повышение почвенного плодородия, сохранение стабильности экосистемы мелиорируемых земель. Чтобы увеличить продуктивность рисовых полей, нужно повысить плодородие почв путем применения комплекса соответствующих мероприятий.

Результаты и обсуждение. В настоящее время в Краснодарском крае 3,7 млн га пашни, из них мелиорированные земли занимают 410,9 тыс. га, в т. ч. орошаемые земли 386,4 тыс. га, что составляет порядка 10 % от площади пашни. Общая площадь государственных оросительных систем составляет 313,3 тыс. га, в т. ч. рисовый орошаемый фонд – 234,4 тыс. га.

На фоне общего роста посевных площадей и сборов риса в Краснодарском крае приоритетным становится вопрос дефицита водных ресурсов. Анализ основных производственных показателей показывает, что ежегодно полив на орошаемых землях осуществляется на площади порядка 153,0 тыс. га с общим объемом водоподдачи 2556,0 млн м³ [2].

Для оценки состояния мелиорированных земель нами определялся уровень грунтовых вод (УГВ) путем бурения временных скважин и замеров, для определения минерализации проводился отбор проб на химический анализ. УГВ в 2020 г. колебался от 1,37 до 3,81 м. Средняя величина УГВ в 2020 г. составила 2,11 м.

Динамика УГВ в Краснодарском крае за ряд лет показана на рисунке 1.

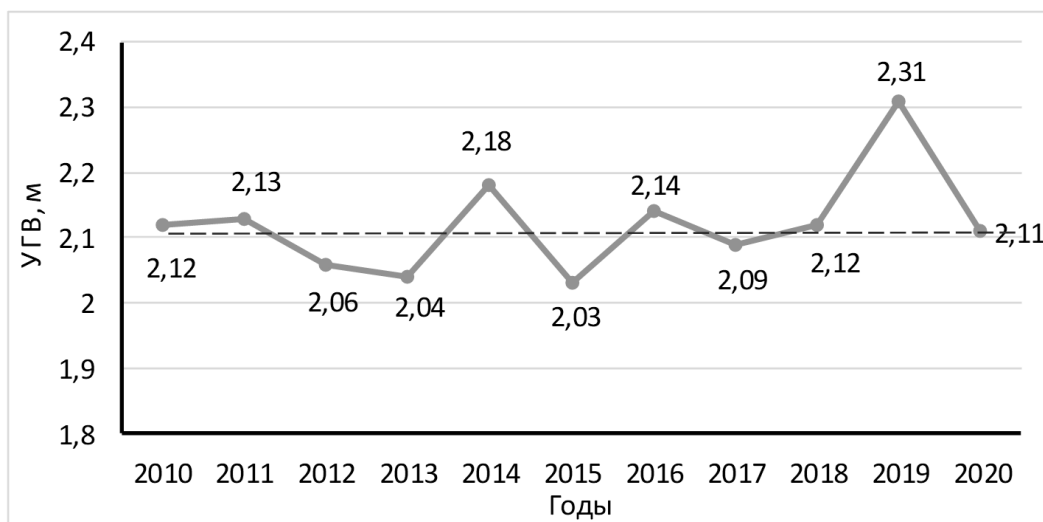


Рисунок 1 – Динамика уровня грунтовых вод на мелиорированных землях Краснодарского края

Figure 1 – Dynamics of the groundwater level on reclaimed lands of Krasnodar Territory

Средняя величина минерализации грунтовых вод в 2020 г. составила 2314 мг/л (таблица 1).

Таблица 1 – Средняя минерализация грунтовых вод

Table 1 – Average mineralization of groundwater

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Минерализация	2401	2412	2011	2401	2500	2410	2378	2297	2347	2117	2314

Главным сектором экономики Краснодарского края является агропромышленный комплекс. Лидер по выращиванию риса – Красноармейский район. Общий орошаемый фонд Красноармейского района составляет 84354 га, в т. ч. рисовый ирригационный фонд – 81098 га. Посевы риса ежегодно занимают порядка 60–62 % от общей площади РОС, что согласуется с рекомендациями отраслевого научно-исследовательского института ВНИИ риса о научно обоснованном рисовом севообороте с насыщением РОС основной культурой не более 62,5 %. Он позволяет получать до 40 % риса Кубани, что составляет более 45 тыс. га, и до 20 % риса всей страны [3, 4].

При проведении исследования были поставлены следующие задачи:

- оценка мелиоративного состояния и почвенного плодородия орошаемых земель края;
- разработка агромелиоративных приемов повышения и сохранения плодородия орошаемых почв.

Немаловажно в реализации инновационных природоохранных мероприятий качественное обследование мелиоративного состояния земель. Все работы по обследованию мелиоративного состояния земель выполняются в соответствии с административным регламентом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, они включают в себя следующие виды и объемы работ:

- весенняя и осенняя гидрогеологическая «срезка» на орошаемых землях;
- соблюдение водного баланса (организация полива в рамках выделенных лимитов);

- наблюдения за гидрохимическим режимом оросительных и коллекторно-дренажных вод рисовых систем с отбором проб воды;
- наблюдения за солевым режимом почв, включающие в себя крупномасштабное солевое опробование почв;
- лабораторные работы – сокращенный анализ водной вытяжки и сокращенный анализ воды;
- камеральные работы по обработке полученных данных.

На основе анализа материалов проведенных работ и материалов изысканий прошлых лет произведена оценка мелиоративного состояния 84,3 тыс. га орошаемых земель района. Сравнительный анализ мелиоративного состояния орошаемых земель за 2019–2020 гг. представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика мелиоративного состояния орошаемых земель в Красноармейском районе в 2019–2020 гг.

Table 2 – Characteristics of the reclamative state of irrigated lands in Krasnoarmeisky district in 2019–2020

В га

Год	Ороша- емая площадь	Мелиоративное состояние земель					
		Хоро- шее	Удовле- твори- тельное	Неудо- влетвори- тельное	В т. ч.		
					Недопу- стимый УГВ	Засо- ление	Недопустимые УГВ и засоление почв
2019	84354	57445	20123	6789	526	6192	68
2020	84354	57301	19988	7217	957	6157	103
Прирост	–	–144	–135	+428	+431	–35	+35

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что площади с неудовлетворительным мелиоративным состоянием увеличились на 428 га, поэтому необходимо выполнить мероприятия по повышению уровня гидролого-мелиоративной обстановки в Красноармейском районе.

На мелиоративное и техническое состояние РОС влияет целый ряд природных условий. На примере Красноармейского района приведены природные факторы, влияющие на РОС:

- климатические условия;
- годовые и многолетние изменения водности рек и их солевого состава;
- геоморфологические и геологические условия;
- глубина залегания грунтовых вод.

В результате исследований выявлено, что мелиоративная обстановка на РОС Красноармейского района характеризуется как хорошая, удовлетворительная и неудовлетворительная. В хорошем мелиоративном состоянии находятся 57301 га (67 %), в удовлетворительном – 19988 га (24 %), неудовлетворительном – 7217 га (9 %).

Причинами неудовлетворительного состояния 7217 га орошаемых земель являются: недопустимая глубина залегания УГВ (менее 1,5 м) – 957 га (11 %), засоление почв – 6157 га (86 %), близкое залегание грунтовых вод и засоление почв – 103 га (3 %). Произошло это по причине увеличения количества выпавших в межвегетационный период атмосферных осадков. Отмечено также увеличение неблагоприятных по глубине залегания УГВ площадей на участках систем, где полив риса и относительно влажный межвегетационный период способствовали повышению УГВ. В связи с этим необходимо в дальнейшем вести мониторинг почв Красноармейского района, характеризующихся неудовлетворительным состоянием, а также провести комплекс мероприятий,

направленных на улучшение мелиоративного состояния оросительных систем. Неудовлетворительное мелиоративное состояние почв наблюдается на участках, которые располагаются в низменности у прудов и лиманов. Недостаточная глубина залегания грунтовых вод, зачастую перенасыщенных минералами, негативно сказывается на продуктивности земель. Усугублять мелиоративное состояние также может полив с использованием низкокачественной воды, забираемой из близлежащих источников [5].

Данные многолетних наблюдений за гидрохимическим режимом воды говорят о том, что водой, пригодной для орошения (I и II класса), орошается всего 8182 га; водой III класса (ограниченно пригодной для орошения), в основном после разбавления пресными водами, опреснения или химической мелиорации, здесь орошалось 44252 га; водой IV класса (условно пригодной для орошения) – 12210 га; водой V класса (непригодной для орошения) – 5907 га. Поэтому при мелиорации земель на РОС прежде всего необходимо обратить внимание на удаление избыточных легкорастворимых солей с отводом их коллекторно-дренажной сетью за пределы мелиорируемых территорий, проведение капитальных промывок и комплекса агромероприятий. Известно, что основным источником грунтовых вод за вегетационный период является оросительная вода [6]. В связи с этим в период интенсивного орошения земель нерисовой зоны здесь были отмечены процессы накопления солей в верхних горизонтах почвенного профиля и ухудшение водно-физических свойств черноземных почв.

Прогноз изменения природных условий при продолжении эксплуатации РОС без проведения мелиоративных мероприятий неблагоприятен. Ожидается прогрессирующее ухудшение мелиоративного, и особенно почвенно-мелиоративного, состояния, при высоких УГВ и, соответственно, низкой аэрации в почве будут интенсивно проходить восстановительные (закисные) процессы, сопровождающиеся оглеением и ухудшением водопроницаемости почв, появлением в почве токсичных продуктов. Рассоление засоленных почв будет происходить крайне медленно (более 30 лет) [7, 8].

Так, комплекс мелиоративных мероприятий в основном должен быть направлен [9]:

- на снижение УГВ под рисом во вневегетационный период и в течение всего года под сопутствующими культурами более 1,5–1,8 м;
- создание фильтрационного потока под рисом в вегетационный период для подавления восстановительных процессов, снижения оглеения и усиления рассоления почв;
- улучшение водно-физических свойств почв с целью повышения их водопроницаемости за счет увеличения внесения органических удобрений, кротования и глубокой вспашки;
- улучшение спланированности поверхности чеков;
- наблюдение за солевым режимом почв, в т. ч. крупномасштабное солевое опробование почв.

На основании результатов проведенных исследований на оросительных системах Красноармейского района необходимо выполнить следующие мероприятия.

1 Инновационно подходить к разработке комплексов технологических операций для сохранения агресурсного потенциала рисовых полей.

2 Для экономии энергоресурсов, улучшения мелиоративного состояния рисовых полей и сохранения плодородия почв осуществлять подачу воды на рисовые системы в полном соответствии с агротехнологическими требованиями возделываемой культуры.

3 Для предотвращения возникновения в пахотном горизонте процессов вторичного засоления, оглеения, слитизации и деструктуризации почвы выполнять агромероприятия по снижению и стабилизации УГВ на РОС в межвегетационный период, проводить откачку дренажных вод за пределы системы.

4 На участках с повышенной фильтрацией из каналов необходимо устройство специальных противофильтрационных одежд либо замена их трубами или лотковой сетью.

5 Регулярно контролировать и анализировать УГВ вблизи сбросных магистральных коллекторов для существенного уменьшения затрат электроэнергии на перекачку вод.

6 В межвегетационный период ликвидировать на осушительных каналах тростник, камыш и древесную растительность, восстановить водовыпуски, что позволит в осенне-зимний период ликвидировать подтопление сельскохозяйственных угодий и создаст благоприятные условия для протекания окислительно-восстановительных процессов на рисовых полях.

Выводы. В результате проведенных исследований выявлено, что в Красноармейском районе Краснодарского края 57301 га, или 67 %, орошаемых земель находятся в удовлетворительном состоянии, но существуют локальные участки, на которых необходимы комплексные мероприятия по улучшению состояния почв.

Осуществлен анализ мелиоративных мероприятий по использованию ресурсов в Красноармейском районе. Отмечено, что для их восстановления необходимо провести комплекс мелиоративных мероприятий, направленных на борьбу с переувлажнением, засолением, восстановление конфигурации чеков, оросительных и сбросных каналов, борьбу с сорной и древесно-кустарниковой растительностью.

Список источников

1. Система рисоводства Краснодарского края / К. М. Авакян [и др.]. Краснодар, 2011. 340 с.

2. Коврякова Е. А. Приоритетные направления повышения эффективности производства риса: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Краснодар, 2015. 25 с.

3. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов: монография. Краснодар: ЭДВИ, 2014. 200 с.

4. Совершенствование технологии возделывания риса в санитарных зонах (на примере учхоза «Кубань») / Г. Л. Зеленский, М. И. Чеботарев, Т. В. Логойда, О. В. Зеленская, А. А. Салай // Труды КубГАУ. 2018. № 5(74). С. 53–57.

5. Владимиров С. А. Стратегия устойчивого экологически безопасного рисоводства: монография. Краснодар: КубГАУ, 2017. 160 с.

6. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / А. Н. Коробка [и др.]. Краснодар, 2015. 352 с.

7. Ногалевский Э. Ю., Ногалевский Ю. Я., Папенко И. Н. Региональная мелиоративная география. Краснодарский край: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 280 с.

8. Соляник Г. М. Почвы Краснодарского края // География Краснодарского края: сб. ст. Краснодар, 1994. С. 51–64.

9. Владимиров С. А., Кузнецов Е. В. Основы органического рисоводства и производства экологической продукции: монография. Майкоп: МГТУ, 2010. 244 с.

References

1. Avakyan K.M. [et al.], 2011. *Sistema risovodstva Krasnodarskogo kraya* [The Rice Growing System of Krasnodar Territory]. Krasnodar, 340 p. (In Russian).

2. Kovryakova E.A., 2015. *Prioritetnye napravleniya povysheniya effektivnosti proizvodstva risa. Avtoreferat diss. kand. ekon. nauk* [Priority directions for improving the efficiency of rice production. Abstract of cand. econom. sci. diss.]. Krasnodar, 25 p. (In Russian).

3. Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., 2014. *Sel'skokhozyaystvennyy meliorativnyy kompleks dlya ustoychivogo razvitiya agrolandshaftov: monografiya* [Agricultural Reclamation Complex for Sustainable Development of Agrolandscapes: monograph]. Krasnodar, EDVI, 200 p. (In Russian).

4. Zelensky G.L., Chebotarev M.I., Logoyda T.V., Zelenskaya O.V., Salay A.A., 2018. *Sovershenstvovanie tekhnologii vozdeleyvaniya risa v sanitarnykh zonakh (na primere uchkhoza "Kuban")* [Improving the technology of rice cultivation in sanitary zones (on the example of Kuban educational farm)]. *Trudy KubGAU* [Proceedings of KubGAU], no. 5(74), pp. 53-57. (In Russian).

5. Vladimirov S.A., 2017. *Strategiya ustoychivogo ekologicheskogo bezopasnogo risovodstva: monografiya* [The Strategy of Sustainable Environmentally Safe Rice Growing: monograph]. Krasnodar, KubGAU, 160 p. (In Russian).

6. Korobka A.N. [et al.], *Sistema zemledeliya Krasnodarskogo kraya na agrolandshaftnoy osnove* [The System of Agriculture of Krasnodar Territory on Agrolandscape Basis]. Krasnodar, 2015, 352 p. (In Russian).

7. Nogalevsky E.Yu., Nogalevsky Yu.Ya., Papenko I.N., 2013. *Regional'naya meliorativnaya geografiya. Krasnodarskiy kray: monografiya* [Regional Reclamative Geography. Krasnodar Territory: monograph]. Krasnodar, KubGAU, 280 p. (In Russian).

8. Solyanik G.M., 1994. *Pochvy Krasnodarskogo kraya* [Soils of Krasnodar Territory]. *Geografiya Krasnodarskogo kraya: sb. st.* [Geography of Krasnodar Territory: collection of articles]. Krasnodar, pp. 51-64. (In Russian).

9. Vladimirov S.A., Kuznetsov E.V., 2010. *Osnovy organicheskogo risovodstva i proizvodstva ekologicheskoy produktsii: monografiya* [Fundamentals of Organic Rice Growing and Production of Ecological Products: monograph]. Maikop, MSTU, 244 p. (In Russian).

Информация об авторах

Н. Н. Малышева – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук;

А. Е. Кочнева – ведущий инженер отдела водопользования.

Information about the authors

N. N. Malysheva – Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences;

A. E. Kochneva – Leading Engineer of the Water Use Department.

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 17.02.2022; одобрена после рецензирования 11.03.2022; принята к публикации 16.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 11.03.2022; accepted for publication 16.03.2022.

Научная статья

УДК 633.34:631.67

Влияние рострегулирующих препаратов на развитие и урожайность сои на орошаемых землях Ростовской области

Сергей Артурович Селицкий¹, Георгий Трифонович Балакай²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Аннотация. Цель: изучение влияния регуляторов роста при обработке семян сои перед посевом и внекорневой обработки растений в течение вегетации на рост, развитие и продуктивность сои. **Материалы и методы.** Полевой опыт проводился в 2019–2020 гг. в Октябрьском районе Ростовской области на участке с лугово-черноземными почвами. На опытных полях применялась общепринятая технология возделывания сои в Ростовской области. Соя высевалась ширококядным способом через 70 см нормой высева 500 тыс. шт./га. Высевался сорт сои СК Оптима раннего срока созревания с продолжительностью вегетации до 113 дней. Схемой опыта предусматривались варианты, включающие обработку семян до посева и внекорневые обработки растений в фазы бутонизации и начала налива бобов, а также их сочетание. В качестве рострегулирующих препаратов применялись Форма № 1, Кора Р7, Микромак А и Б. Опыт проведен в 4-кратной повторности, площадь делянок – 168 м². Учетная площадь делянки – 117 м². **Результаты.** В результате исследований установлено влияние регуляторов роста на динамику высоты растений, накопление сухой биомассы растений, нарастание площади листовой поверхности сои в различные фазы развития. **Выводы.** Применение предпосевной обработки семян обеспечило прибавку урожая 0,11–0,34 т/га, внекорневой обработки растений в фазе бутонизации и начала налива бобов – 0,15–0,30 т/га, совместной обработки семян и растений – 0,26–0,60 т/га. Максимальная урожайность получена в варианте с регулятором роста Кора Р7 – 4,31 т/га.

Ключевые слова: соя, регуляторы роста, внекорневая обработка, микроэлементы, технология возделывания, орошение, урожайность

Original article

Impact of growth regulators on the development and productivity of soybeans on irrigated lands of Rostov region

Sergey A. Selitsky¹, Georgiy T. Balakay²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

Abstract. Purpose: to study the impact of growth regulators in soybean seeds treatment before sowing and foliar treatment of plants during the growing season on the growth, development and productivity of soybeans. **Materials and methods.** The field experiment was carried out in 2019–2020 in Oktyabrsky district Rostov region on a site with meadow-chnozem soils. The generally accepted technology of soybean cultivation was used on experimental fields in Rostov region. Soybeans were sown in wide-rows every 70 cm with a

seed rate of 500 thousand pieces/ha. Early ripening soybean variety SK Optima with a vegetation period up to 113 days was sown. Experiment scheme provided options, including seed treatment before sowing and foliar treatment of plants in the budding stage and the beginning of bean filling, as well as their combination. Form no. 1, Cora R7, Mikromak A and B were used as growth-regulators. The experiment was carried out in 4 repetitions, the plot area was 168 m². The accounting plot is 117 m². **Results.** As a result of the research, the influence of growth regulators on the dynamics of plant height, the accumulation of dry plant biomass, and the increase in the area of the soybean leaf surface in various phases of development was established. **Conclusions.** The use of pre-sowing seed treatment provided an increase in yield of 0.11–0.34 t/ha, foliar treatment of plants in the budding stage and the beginning of bean filling – 0.15–0.30 t/ha, joint treatment of seeds and plants was 0.26–0.60 t/ha. The maximum yield was obtained in the variant with growth regulator Kora P7 – 4.31 t/ha.

Keywords: soybeans, growth regulators, foliar treatment, micronutrients, cultivation technology, irrigation, productivity

Введение. Соя является одной из основных сельскохозяйственных культур, ее возделывание расширяется как во всем мире, так и в Российской Федерации. Продукты переработки сои востребованы во многих отраслях промышленности, питания и кормлении животных [1]. Сложившиеся рыночные цены на зерно сои позволяют рентабельно выращивать эту культуру во всех регионах России. Статистические данные о производстве сои показывают, что в 2021 г. в целом по стране получено на уровне 4,6 млн т зерна, посевные площади достигли 3021 тыс. га, а урожайность составила 16,8 ц/га. Структура посевных площадей в этом году впервые изменилась в пользу Центрального федерального округа (ФО), где доля полей, занятых соей, составила 43,0 % против 38,4 % в Дальневосточном ФО. Доля посевных площадей Южного ФО составила 6,1 % [2]. Величина урожайности сои по регионам варьирует от агроклиматических ресурсов региона и уровня применяемой технологии возделывания сои. Для сои, как бобовой культуры, для формирования высокого урожая качественного состава необходимо соблюдать в течение вегетации питательный режим, обеспечивая растения необходимым количеством макро- и микроэлементов. Помимо внесения расчетных норм минеральных удобрений под основную и предпосевную обработку почвы, важный момент в оптимизации питания сои – внекорневые обработки растений в течение вегетации, которые, являясь малозатратным элементом технологии, снабжают вегетативные и генеративные органы питательными элементами [3].

Как высокобелковая культура, для формирования урожая соя использует большое количество азота, причем в первую половину вегетации он накапливается в основном в листьях, потом в стеблях и корнях. С образованием бобов происходит перераспределение азота и его накопление в бобах [4]. Фосфор имеет большое значение в обмене веществ, процессе фотосинтеза, развитии вегетативных и генеративных органов. Максимальное потребление фосфора происходит в период от цветения до образования и налива бобов. Калий участвует в углеводном перераспределении, синтезе белков, регулировании водного баланса и др. Его потребление максимально в период образования и налива бобов [5].

Многими исследованиями подтверждается положительное влияние внекорневых обработок растений в вегетационный период препаратами, содержащими микроэлементы. Молибден, марганец, кобальт, бор, цинк, медь и другие микроэлементы, несмотря на их малое содержание в растениях, способствуют увеличению темпов роста растений, развитию и повышению продуктивности, активности симбиотической азотфиксации, устойчивости к стрессам. Применение внекорневых обработок жидкими удобрениями способствует сокращению количества минеральных удобрений, что уменьшает затраты на возделывание и получение экологически чистой продукции сои [6, 7].

Поэтому целью наших исследований было изучение влияния регуляторов роста при обработке семян сои перед посевом и внекорневой обработки растений в течение вегетации на рост, развитие и продуктивность сои.

Материалы и методы. Полевой опыт по изучению влияния регуляторов роста на рост, развитие и урожайность сои проводился в 2019–2020 гг. в Октябрьском районе Ростовской области. Агрохимические свойства лугово-черноземных почв на опытном участке характеризуются хорошей степенью обеспеченности (очень высоким содержанием азота, средним содержанием фосфора и очень высоким содержанием калия). Нитратного азота в слое почвы 0–40 см содержится 27,8–30,2 мг/кг, подвижного фосфора – 15,8–49,8 мг/кг, обменного калия – 482–527 мг/кг. Содержание гумуса на участках низкое – 3,03–3,13 %. Почвы представляют собой тяжелые суглинки. Водно-физические показатели говорят о вполне пригодных свойствах этих почв для выращивания сои, наименьшая влагоемкость (НВ) почвы составляет 28,3 % в слое 0–60 см, а плотность почвы для этого слоя – 1,27 т/м³.

Метеоусловия вегетационных периодов в годы исследований характеризовались низкими значениями атмосферных осадков, отличными от среднегодовых значений. В 2019 г. их количество составило 58 % от нормы, а в 2020 г. – 54 %. Температурный режим в вегетационный период превысил среднегодовые значения. Сумма температур воздуха выше 10 °С за расчетный период вегетации сои составила 3480,9 °С в 2019 г. и 3320,3 °С в 2020 г.

На опытных полях применялась общепринятая технология возделывания сои в Ростовской области. Соя высевалась широкорядным способом через 70 см нормой посева 500 тыс. шт./га. Высевался сорт сои СК Оптима раннего срока созревания с продолжительностью вегетации до 113 дней индетерминантного типа развития. Семена сорта характеризуются массой 1000 шт. 139 г, содержанием белка 36,6 %, жира – 22,7 % [8]. Водный режим на опытном участке поддерживался на уровне увлажнения в пределах 80–100 % НВ в слое почвы 0,6 м. Орошение опытного участка осуществлялось дождеванием, поливы проводились дождевальной машиной Valley. Опыт проведен в 4-кратной повторности, площадь делянок – 168 м². Учетная площадь делянки – 117 м².

Схемой опыта предусматривались варианты, включающие обработку семян до посева и сочетание их с внекорневыми обработками растений в фазы бутонизации и начала налива бобов. Контрольным был вариант без обработок семян и растений. В качестве рострегулирующих препаратов применялись Форма № 1, Кора Р7, Микромак А и Б.

В ходе исследований на посевах сои выполнялись фенологические наблюдения, наблюдения за ростом и развитием растений, накоплением площади листовой поверхности. Структурный анализ и учет урожайности сои проводился поделочно, отбором снопов с единицы площади. Наблюдения и учеты осуществлялись по общепринятым методикам полевого опыта, статистическая обработка результатов выполнена по методике Б. А. Доспехова [9].

Результаты и обсуждение. Применяемые препараты в различной степени повлияли на рост, развитие и урожайность сои, хотя их общее применение положительно отразилось на ростовых процессах в сравнении с необработанными посевами (контролем).

Данные учетов за 2019–2020 гг. показали, что высота растений сои за период вегетации достигла максимальных значений в фазе налива бобов (таблица 1).

В вариантах с совместным применением предпосевной обработки семян и внекорневой обработки высота растений превысила показатели варианта с обработкой семян сои, но прибавка была незначительной по величине. По сравнению с контрольным вариантом отмечено незначительное превышение высоты растений в вариантах с применением обработок, а наибольшее – в варианте с применением Кора Р7 – 4,4 см.

Таблица 1 – Высота растений сои в зависимости от обработки семян и внекорневой подкормки различными регуляторами роста, 2019–2020 гг.**Table 1 – Height of soybean plants depending on seed treatment and foliar feeding with various growth regulators, 2019–2020**

В см

Вариант		Высота растений		
		Ветвление	Цветение	Налив бобов
Контроль	Без стимуляторов	22,40	62,80	111,40
Форма № 1	Обработка семян (ОС)	23,75	65,95	113,70
	ОС + внекорневая подкормка (ВП)	23,75	66,55	114,90
Кора Р7	ОС	23,50	65,35	114,45
	ОС + ВП	23,45	66,05	115,80
Микромак А	ОС	23,10	64,65	112,25
	ОС + ВП	23,10	65,20	113,65
Микромак Б	ОС	23,00	64,05	111,85
	ОС + ВП	23,00	64,70	112,75
Микромак А + Микромак Б	ОС	23,75	65,95	113,65
	ОС + ВП	23,70	67,20	114,60

Накопление сухой массы сои происходит по мере развития растений, достигая максимума в фазе налива бобов. В фазе ветвления величина сухой массы варьировала от 2,25 до 2,30 т/га в зависимости от применяемого регулятора роста, эти величины больше контрольного варианта на 0,06–0,14 т/га, или 3,14–6,76 % (таблица 2).

Таблица 2 – Накопление сухой надземной биомассы растениями сои при обработке регуляторами роста, 2019–2020 гг.**Table 2 – Accumulation of dry aboveground biomass by soybean at growth regulators, 2019–2020**

В т/га

Вариант		Накопление сухой надземной биомассы		
		Ветвление	Цветение	Налив бобов
Контроль	Без стимуляторов	2,07	6,15	10,15
Форма № 1	ОС	2,20	6,52	10,45
	ОС + ВП	2,20	6,65	11,18
Кора Р7	ОС	2,17	6,46	10,78
	ОС + ВП	2,17	6,58	10,96
Микромак А	ОС	2,16	6,40	10,45
	ОС + ВП	2,16	6,51	10,86
Микромак Б	ОС	2,14	6,34	10,57
	ОС + ВП	2,14	6,40	10,76
Микромак А + Микромак Б	ОС	2,21	6,63	10,64
	ОС + ВП	2,21	7,15	11,77

В фазах цветения и налива бобов начинает проявляться преимущество вариантов с совместной обработкой перед вариантами только с обработкой семян. Разница между этими вариантами в среднем за годы исследований в фазе цветения варьировала от 0,07 до 0,52 т/га, а в фазе налива бобов от 0,18 до 1,13 т/га. Прибавка урожая сухой массы в сравнении с контрольным вариантом в фазе цветения составила 0,19–0,99 т/га в зависимости от варианта, или 3,01–16,18 %. В фазе налива бобов прибавка к контролю из-

менялась от 0,30 до 1,62 т/га, или от 2,91 до 15,91 %. Максимальное накопление сухой надземной биомассы растениями сои обеспечило совместное применение обработки растений и семян сои Микромаком А + Б – 11,77 т/га.

Площадь листовой поверхности во многом определяет показатели урожайности сои. Анализируя данные о площади листовой поверхности сои (таблица 3) за годы исследований в разные фазы развития, можно отметить, что в фазе ветвления совместное применение внекорневой обработки и обработки семян позволило нарастить большую площадь по сравнению с вариантом без обработок (контролем) на 0,34–1,01 тыс. м²/га.

Таблица 3 – Площадь листовой поверхности сои при обработке регуляторами роста в различные фазы развития, 2019–2020 гг.

Table 3 – Soybean leaf surface area treated with growth regulators in different development phases, 2019–2020

Вариант		Площадь листовой поверхности		
		Ветвление	Цветение	Налив бобов
Контроль	Без стимуляторов	16,95	28,82	61,48
Форма № 1	ОС	17,80	30,55	65,17
	ОС + ВП	17,80	31,13	66,40
Кора Р7	ОС	17,63	30,27	64,55
	ОС + ВП	17,63	30,84	65,78
Микромак А	ОС	17,46	29,97	63,94
	ОС + ВП	17,38	30,54	65,18
Микромак Б	ОС	17,29	29,68	63,33
	ОС + ВП	17,29	30,27	64,55
Микромак А + Микромак Б	ОС	17,96	30,85	65,79
	ОС + ВП	17,96	31,42	67,02

В тыс. м²/га

За период от ветвления до цветения сои нарастание площади листовой поверхности составило 11,88–13,46 тыс. м²/га, а за период от цветения до налива бобов – 32,66–35,60 тыс. м²/га. В фазе налива бобов два компонента Микромака обеспечили наибольшее формирование листовой поверхности (67,02 тыс. м²/га) при совместном применении внекорневой обработки растений и обработки семян, это на 5,54 тыс. м²/га выше контрольного варианта. В остальных вариантах превышение над контролем составило 1,85–5,54 тыс. м²/га.

Применение регуляторов роста на посевах сои повлияло не только на динамику высоты растений, накопление сухой массы, нарастание площади листовой поверхности, но и в конечном счете на формирование урожайности зерна сои (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние регуляторов роста на урожайность сои, 2019–2020 гг.

Table 4 – Influence of growth regulators on soybean yield, 2019–2020

Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожая					
			от обработки семян		от внекорневой подкормки		суммарная (ОС + ВП)	
			т/га	%	т/га	%	т/га	%
1		2	3	4	5	6	7	8
Контроль (без стимуляторов)		3,71	0	0	0	0	0	0
Форма № 1	ОС	3,94	0,23	6,20	0,00	0	0	0
	ОС + ВП	4,24	0	0	0,30	7,5	0,52	14,2
Кора Р7	ОС	4,01	0,30	7,95	0,00	0	0,00	0
	ОС + ВП	4,31	0	0	0,30	7,5	0,60	16,0

Продолжение таблицы 4

1		2	3	4	5	6	7	8
Микромак А	ОС	3,86	0,15	3,91	0,00	0	0,00	0
	ОС + ВП	4,01	0	0	0,15	3,9	0,30	8,0
Микромак Б	ОС	3,82	0,11	2,83	0,00	0	0,00	0
	ОС + ВП	3,97	0	0	0,15	3,9	0,26	6,9
Микромак А + Микромак Б	ОС	4,05	0,34	9,03	0,00	0	0,00	0
	ОС + ВП	4,27	0	0	0,23	5,6	0,56	15,1
НСР ₀₅ по факто- ру А, т/га	—	—	0,27	—	—	—	—	—
НСР ₀₅ по факто- ру В, т/га	—	—	—	—	0,28	—	—	—
НСР ₀₅ по факто- ру АВ, т/га	—	—	—	—	—	—	0,69	—

Наибольшая урожайность сои в среднем за 2 года получена в варианте с применением регулятора роста Кора Р7 при совмещении обработки семян перед посевом и внекорневой обработки растений в фазы бутонизации и начала налива бобов сои – 4,31 т/га. Прибавка урожая от предпосевной обработки семян варьировала от 0,11 до 0,34 т/га в зависимости от регулятора роста, а максимальная зафиксирована в варианте с двухкомпонентным Микромак А + Б. Применение внекорневой обработки в течение вегетации обеспечило прибавку урожая от 0,15 до 0,30 т/га, или от 3,9 до 7,5 %. В вариантах опыта с совместным применением семенной и внекорневой обработки прибавка урожая составила 0,26–0,60 т/га, или 6,9–15,1 %. Надо отметить, что регуляторы роста Форма № 1, Кора Р7 и Микромак А + Б оказались наиболее эффективными, а по своему влиянию на урожайность сои сорта СК Оптима они практически одинаковы.

Выводы. Исследованиями установлено положительное влияние применения регуляторов роста Форма № 1, Кора Р7 и Микромак А + Б на высоту растений, накопление сухой биомассы растений, нарастание площади листовой поверхности и формирование урожайности зерна. Применение предпосевной обработки семян обеспечило прибавку урожая 0,11–0,34 т/га, внекорневой обработки растений в фазе бутонизации и начала налива бобов – 0,15–0,30 т/га, совместной обработки семян и растений – 0,26–0,60 т/га. Максимальная урожайность получена в варианте с регулятором роста Кора Р7 – 4,31 т/га.

Список источников

1. Соя в России – действительность и возможность / В. М. Лукомец, А. В. Кочегура, В. Ф. Баранов, В. Л. Махонин. Краснодар, 2013. 100 с.
2. Российский рынок соевых бобов и продуктов их переработки – тенденции и прогнозы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/322965> (дата обращения: 10.02.2022).
3. Балакай Г. Т., Селицкий С. А. Влияние применения регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность и на продуктивность сои // Современные аспекты управления плодородием агроландшафтов и обеспечения экологической устойчивости производства сельскохозяйственной продукции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение сельского хозяйства», 21–22 сент. 2020 г. Персиановский: Донской ГАУ, 2020. С. 222–228.
4. Роль некорневых подкормок в продукционном процессе агрофитоценозов сои и формировании жизнеспособности семян / В. Ф. Баранов, В. Л. Махонин, Уго Аламиро Торо Корреа, А. В. Щегольков // Масличные культуры. 2013. № 1. С. 153–154.

5. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей: учеб.-метод. пособие. Благовещенск: Одеон, 2016. 115 с.

6. Федорова З. С., Шитикова А. В., Тевченков А. А. Влияние регулятора роста «Зеребра Агро» на формирование урожая сортов сои в условиях Калужской области // Кормопроизводство. 2020. № 1. С. 26–30.

7. Дядюченко Л. В., Тараненко В. В., Дмитриева И. Г. Изучение рострегулирующих свойств производных пиридин-2-сульфанилацетанилидов на растениях сои // Агрохимия. 2020. № 5. С. 12–16.

8. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений: офиц. изд. М.: Росинформагротех, 2021. 719 с.

9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Кн. по требованию, 2012. 352 с.

References

1. Lukomets V.M., Kochegura A.V., Baranov V.F., Makhonin V.L., 2013. *Soya v Rossii – deystvitel'nost' i vozmozhnost'* [Soybean in Russia – Reality and Possibility]. Krasnodar, 100 p. (In Russian).

2. *Rossiyskiy rynek soevykh bobov i produktov ikh pererabotki – tendentsii i prognozy* [The Russian market of soybeans and products of their processing – Tendencies and forecasts], available: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/322965> [accessed 10.02.2022]. (In Russian).

3. Balakay G.T., Selitsky S.A., 2020. *Vliyanie primeneniya regulyatorov rosta na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i na produktivnost' soi* [Influence of application of growth regulators on photosynthetic activity and soy productivity]. *Sovremennye aspekty upravleniya plodorodiem agrolandshaftov i obespecheniya ekologicheskoy ustoychivosti proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie sel'skogo khozyaystva"* [Modern Aspects of Managing the Fertility of Agricultural Landscapes and Ensuring the Environmental Sustainability of Agricultural Production: Proc. of International Scientific-Practical Conference "From Inertia to Development: Scientific and Innovative Support for Agriculture"]. Persianovsky, Donskoy State Agrarian University, pp. 222-228. (In Russian).

4. Baranov V.F., Makhonin V.L., Hugo Alamiro Toro Correa, Shchegolkov A.V., 2013. *Rol' nekornevnykh podkormok v produktsionnom protsesse agrofitotsenozov soi i formirovani zhiznesposobnosti semyan* [The role of foliar dressings in the production process of soybean agrophytocenoses and the formation of seed germination ability]. *Maslichnye kul'tury* [Oil Cultures], no. 1, pp. 153-154. (In Russian).

5. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P., 2016. *Metody issledovaniy v polevykh opytakh s soey: uchebno-metodicheskoe posobie* [Methods of Research in Field Experiments with Soy: textbook]. Blagoveshchensk, Odeon Publ., 115 p. (In Russian).

6. Fedorova Z.S., Shitikova A.V., Tevchenkov A.A., 2020. *Vliyanie regulatora rosta "Zerebra Agro" na formirovanie urozhaya sortov soi v usloviyakh Kaluzhskoy oblasti* [Effect of growth regulator "Zerebra Agro" on soybean yield in the Kaluga region]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder Production], no. 1, pp. 26-30. (In Russian).

7. Dyadyuchenko L.V., Taranenko V.V., Dmitrieva I.G., 2020. *Izuchenie rostreguliruyushchikh svoystv proizvodnykh piridin-2-sul'fanilatsetanilidov na rasteniyakh soi* [Study of growth-regulating characteristics of pyridine-2-sulfanyl acetylde derivatives on soybean plants]. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry], no. 5, pp. 12-16. (In Russian).

8. *Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T. 1. Sorta rasteniy* [State Register of Selection Achievements Approved for Use. Vol. 1. Plant Varieties]. Official ed., Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2021, 719 p. (In Russian).

9. Dospekhov B.A., 2012. *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy* [Methods of Field Experience with Basics of Statistical Processing of Research Results]. Moscow, Book on Demand Publ., 352 p. (In Russian).

Информация об авторах

С. А. Селицкий – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

S. A. Selitskiy – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

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 17.02.2022; одобрена после рецензирования 09.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 09.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

Научная статья

УДК 631.674.6

**Методика прогнозирования планового очертания локальных контуров
влажности, формирующихся при капельном поливе пологосклоновых земель**

Виктор Николаевич Шкура¹, Андрей Александрович Куприянов²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²kupriyanov19967@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5129-3497>

Аннотация. Цель: разработка методики прогнозирования размеров и планового очертания (формы) контуров капельного увлажнения почв на пологосклоновых земельных участках. **Материалы и методы:** в основу методики положены данные исследований контуров влажности, формирующихся на пологосклоновых землях с почвенным покровом, представленным южными суглинистыми и глинистыми черноземами, и полученные с применением методов корреляционно-регрессионного анализа зависимости для описания геометрии увлажняемого при капельном поливе подкапельного почвенного пространства. В качестве факторов влияния на параметры контуров влажности рассмотрены почвенные характеристики (содержание физической глины и наименьшая влагоемкость), рельефные условия, определяемые углом склона ($\alpha_{ск} = 3...9^\circ$), глубина увлажняемого слоя почвы ($h_{увл} = 1,0$ м). **Результаты.** Методика позволяет определять координаты точек оконтуривающей увлажняемую зону почвенного пространства линии, характеризующей плановое очертание локального контура влажности и удаленность его границ от вертикали капания вверх и вниз по склону и в поперечно-радиальных направлениях. Точность прогнозирования размеров и планового очертания контуров влажности составляет $\pm 6,8$ % при наличии отклонений расчетных значений координат от опытных, составляющих $\pm 10,0$ %. **Выводы:** разработана методика, позволяющая прогнозировать плановые размеры и плановое очертание контуров влажности, формирующихся в южных суглинистых и глинистых черноземах при капельном поливе пологосклоновых земельных участков.

Ключевые слова: капельное орошение, пологосклоновые земли, контур влажности, плановое очертание, почвенное пространство

Original article

**Method for forecasting the planned outline of local moisture
contours formed during drip irrigation of gently sloping lands**

Viktor N. Shkura¹, Andrey A. Kupriyanov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²kupriyanov19967@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5129-3497>

Abstract. Purpose: development of a method for forecasting the size and planned outline (shape) of drip moisture contours on gently sloping land plots. **Materials and methods:** the method is based on study data of moisture contours formed on gently slope lands with a soil cover represented by southern loamy and clayey chernozems, and obtained using the methods of correlation-regression analysis of dependence to describe the geometry of sub-

drip soil space moistened during drip irrigation. Soil characteristics (the content of physical clay and the minimum moisture capacity), relief conditions determined by the slope angle ($\alpha_{\text{ск}} = 3...9^\circ$), and the depth of the moistened soil layer ($h_{\text{увл}} = 1,0$ м) were considered as factors influencing the parameters of moisture contours. **Results.** This method allows determining the point positions of the contour line delimiting the soil space moistened zone, characterizing the planned outline of the local moisture contour and the distance of its boundaries from the dripping vertical up and down the slope and in the transverse radial directions. The accuracy of forecasting the dimensions and the planned outline of the moisture contours is ± 6.8 % in the presence of deviations of the calculated values of coordinates from the experimental values, which are ± 10.0 %. **Conclusions:** the method for forecasting the planned dimensions and planned outline of moisture contours that are formed in southern loamy and clayey chernozems during drip irrigation of gently sloping land has been developed.

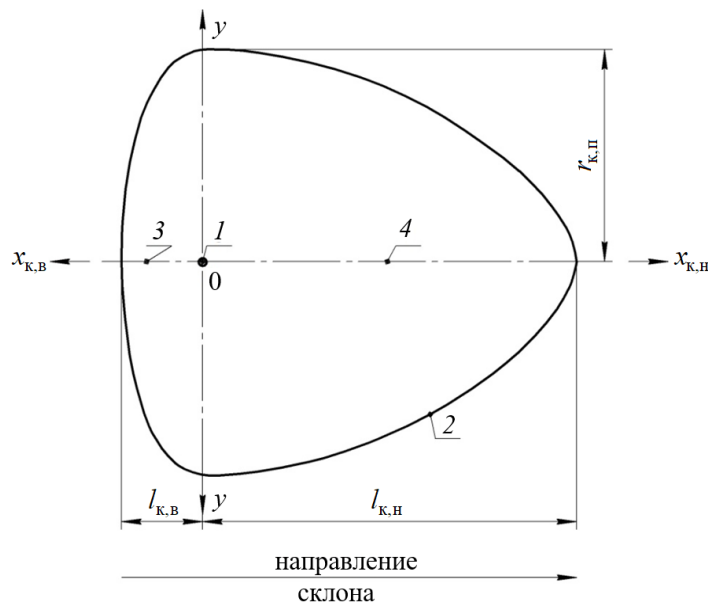
Keywords: drip irrigation, gently sloping lands, moisture contour, planned outline, soil space

Введение. Очевидным достоинством способа капельного орошения является возможность безэрозийного полива склоновых земель, что позволяет применять эту технологию при орошении сельскохозяйственных угодий на пологосклоновых земельных участках. Исследованиями О. Е. Ясониди, И. К. Кулинич, М. Ю. Храброва, Ю. С. Уржумовой и других специалистов в области капельного орошения качественно установлены факты формирования асимметричных контуров влажности почвы, степень асимметричности которых определяется крутизной склонов. В последующих исследованиях [1–3] предпринимались попытки оценить геометрические параметры склоновых контуров влажности количественно. Так, в работе 2019 г. [3] приведены расчетные зависимости и методика прогнозирования формы и размеров вертикальных профилей контуров влажности, формирующихся в почвенном пространстве на пологосклоновых земельных участках при капельном поливе. Отметим, что в практике проектирования систем капельного орошения склоновых земель большую востребованность имеет менее всего исследованное плановое очертание контуров. На удовлетворение указанной востребованности направлено настоящее исследование, посвященное разработке методики прогнозирования формы и плановых размеров пологосклоновых контуров капельного увлажнения почв.

Материалы и методы. Эмпирическую основу предлагаемой методики составили данные авторских экспериментальных исследований и зависимости для определения геометрических параметров контуров увлажнения, формирующихся в почвенной толще при капельном поливе [4, 5]. При установлении функциональных связей и описывающих их зависимостей использовались приемы корреляционно-дисперсионного анализа и синтеза экспериментального материала. Опытный материал и расчетные зависимости получены при нижеприведенных условиях и параметрах контурообразования. Исследованные пологосклоновые участки имели крутизну склонов, характеризуемую углом наклона земной поверхности к горизонту, составляющим $3,0 \leq \alpha_{\text{ск}} \leq 9,0^\circ$. Почвенный покров участков представлен южными черноземами, характеризующимися наличием в них физической глины $W_r = 39,0...72,2$ % от массы сухой почвы (МСП) и наименьшей влагемкостью почвы $W_{\text{НВ}} = 22,0...30,4$ % МСП. Глубина увлажняемого слоя почвы составляла $0,95 \leq h_{\text{увл}} \leq 1,05$ м.

Результаты и обсуждение. Предшествующими исследованиями, проведенными в условиях капельного орошения склоновых земельных участков с почвенным покровом, представленным южными среднесиловыми суглинистыми и глинистыми чернозе-

мами, с подачей поливных норм, обеспечивающих увлажнение почвенной толщи на глубину 1 м, установлен ряд эмпирических зависимостей, использование которых позволяет разработать методику прогнозирования планового очертания контуров влажности, формирующихся при капельном поливе пологосклоновых земельных участков. Расчетная схема планового очертания зоны (контура) капельного увлажнения почвенного пространства (для рассматриваемого случая) приведена на рисунке 1.



1 – точка капания – центр системы координат; 2 – очертания плановой формы контура влажности; 3 – верховая (по направлению склона) область увлажняемой зоны; 4 – низовая (по направлению склона) зона увлажняемого почвенного пространства; $x_{к,в}$ и $x_{к,н}$ – оси (направления) расположения плановых координат (границ) контура в направлении вверх и вниз по склону от центра системы координат; y – ось и направление, определяющие координаты границ контура в поперечном направлении; $r_{к,п}$ – радиус контура влажности в направлении, перпендикулярном склону; $l_{к,в}$ и $l_{к,н}$ – удаленность границ контура вверх и вниз по направлению склона

Рисунок 1 – Схема планового очертания контура капельного увлажнения пологосклонового земельного участка

Figure 1 – Scheme of the planned outline of drip moisture contour of a gently sloping land

В соответствии с приведенной на рисунке 1 схемой в плановом очертании контура можно выделить две характерных зоны: верховую («в») и низовую («н») части. Верховая зона 3 (от поперечного сечения контура вертикальной плоскостью, проходящей через точку капания), расположенная от «нулевого сечения» вверх по склону, формируется за счет капиллярных сил. Эта зона характеризуется расстоянием по оси x_v (удаленностью от точки отсчета 1 $l_{к,в}$ контура) и поперечными радиусами $r_{к,п}$ (по оси y), отчитываемыми от оси контура до его границ в нулевом сечении (при $x_i = 0,0$ м). Низовая (по направлению склона) часть контура 4 характеризуется удаленностью ее границ от нулевого сечения $l_{к,н}$ и радиусами $r_{к,п}$.

Для прогнозирования и вычерчивания очертания контура влажности необходимо установить величины указанных параметров и координаты оконтуривающей линии x и y для его верхней и нижней частей, что реализуется предлагаемой методикой.

Методика прогнозирования планового очертания и размеров локальных контуров влажности, формирующихся на склоновых земельных участках, предусматривает последовательное выполнение ряда нижеследующих расчетно-графических операций.

1 Сбор исходной информации, включая данные о почвенных условиях контурообразования (содержание в пределах расчетного слоя почвы физической глины W_r и величина наименьшей влагоемкости почвы W_{HB} , выраженные в процентах от массы сухой почвы); данные рельефного характера, определяемые величиной угла склона $\alpha_{ск}$; технологические условия капельного полива, определяемые глубиной увлажняемого слоя почвы (глубиной контура) ($h_{увл} = h_{кон}$); значения дополивной ($\beta_{д/п}$) и постполивной ($\beta_{п/п}$) влажности почвы в долях от влажности почв ($\beta_{н/в}$), соответствующей наименьшей влагоемкости, и выдаваемой поливной нормы на одну капельницу, обеспечивающей увлажнение почвы ($h_{увл} = h_{кон}$).

2 Определение значения радиуса контура капельного увлажнения почвы, формирующегося при указанных в п. 1 условиях капельного полива, по зависимости:

$$r_k = 0,167 \cdot h_k \cdot \left[(0,52 + 0,009 \cdot W_r) + (0,14 + 0,034 \cdot W_{HB}) + 0,62 \cdot (W_r/W_{HB})^{0,71} \right].$$

3 Определение значений удаленностей границ контура влажности поперек склона ($r_{к,п}$), вверх ($r_{к,в}$) и вниз ($r_{к,н}$) по склону (в соответствии с рисунком 1) с использованием соотношений: $r_{к,п} = r_k$; $r_{к,в} = (1 - 0,045 \cdot \alpha_{ск}) \cdot r_k$ и $r_{к,н} = (1 + 0,045 \cdot \alpha_{ск}) \cdot r_k$.

4 Задаются относительными значениями удаленности расчетных сечений границы контура от точки капания (с координатой точки $x_i = 0,0$ м) по схеме рисунка 1 вверх и вниз по склону $x_i / r_{к,в}$ и $x_i / r_{к,н}$, равными 0,1; 0,2; 0,3, ..., 1,0.

5 Определение значений относительных координат очертания контура $(y_i)_в / r_{к,п}$ и $(y_i)_н / r_{к,п}$, соответствующих значениям $x_i / r_{к,в}$ и $x_i / r_{к,н}$, по зависимостям:

1) для верховой части контура влажности (по рисунку 1):

$$\frac{(y_i)_в}{r_{к,п}} = 1 - \left[0,05 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right) + 0,10 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right)^2 + 0,20 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right)^3 + 0,50 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right)^4 - 0,10 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right)^5 + 0,25 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,в}} \right)^{25} \right];$$

2) для низовой части контура (в соответствии со схемой на рисунке 1):

$$\frac{(y_i)_н}{r_{к,п}} = 1 - \left[0,05 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right) + 0,15 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right)^2 + 0,40 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right)^3 + 0,60 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right)^4 - 0,60 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right)^5 + 0,40 \cdot \left(\frac{x_i}{r_{к,н}} \right)^{25} \right].$$

6 Определение абсолютных значений координат обозначающей плановое очертание контура влажности линии (границы контура) с использованием соотношений:

1) для верхней (по направлению склона) части планового очертания контура:

$$(x_i)_в = (x_i / r_{к,в}) \cdot r_{к,в}, 0 \leq (x_i)_в \leq r_{к,в},$$

$$(y_i)_в = (y_i / r_{к,п}) \cdot r_{к,п}, 0 \leq (y_i)_в \leq r_{к,п};$$

2) для нижней (по направлению склона) части планового очертания контура:

$$(x_i)_н = (x_i / r_{к,н}) \cdot r_{к,н}, 0 \leq (x_i)_н \leq r_{к,н},$$

$$(y_i)_н = (y_i / r_{к,п}) \cdot r_{к,п}, 0 \leq (y_i)_н \leq r_{к,п}.$$

7 Вычерчивание очертаний плановых границ локального контура влажности почвы по абсолютным значениям координат, определенным в п. 6.

Методика апробирована на опытном контуре капельного увлажнения полого-

склонового земельного участка с углом склона $\alpha_{\text{ск}} = 9,0^\circ$. Почвенный покров участка характеризуется значениями $W_{\text{г}} = 45,5$ % МСП и $W_{\text{нв}} = 26,4$ % МСП. Глубина увлажняемого слоя почвы составила $h_{\text{увл}} = 1,05$ м. Для указанных условий контурообразования в соответствии с зависимостью радиус контура ($r_{\text{к}}$) составит:

$$r_{\text{к}} = r_{\text{к,п}} = 0,167 \cdot 1,05 \cdot [(0,52 + 0,009 \cdot 45,5) + (0,14 + 0,034 \cdot 26,4) + 0,62 \cdot (45,5 / 26,4)^{0,71}] = 0,50 \text{ м.}$$

Удаленность верхней и нижней границы контура от его нулевого сечения составит:

$$r_{\text{к,в}} = (1 - 0,045 \cdot 9) \cdot 0,5 = 0,30 \text{ м,}$$

$$r_{\text{к,н}} = (1 + 0,045 \cdot 9) \cdot 0,5 = 0,70 \text{ м.}$$

С учетом установленных значений $r_{\text{к,п}}$, $r_{\text{к,в}}$ и $r_{\text{к,н}}$ в соответствии с пп. 2–6 методики выполнены расчеты координат контура, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные расчета координат оконтуривающей линии

Table 1 – Calculated data of the contour line coordinates

Относительное значение координат по оси x , м	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
Относительное значение координат по оси y , м	1,0	0,994	0,967	0,897	0,744	0,441	0,0
Абсолютное значение координат по оси x , м	Для верховой зоны контура						
	0,0	0,03	0,09	0,15	0,21	0,27	0,30
	Для низовой зоны контура						
	0,0	0,07	0,21	0,35	0,49	0,63	0,70
Абсолютное значение координат по оси y , м	Для верховой зоны контура						
	0,500	0,497	0,484	0,448	0,372	0,220	0,0
	Для низовой зоны контура						
	0,500	0,497	0,484	0,448	0,372	0,200	0,0

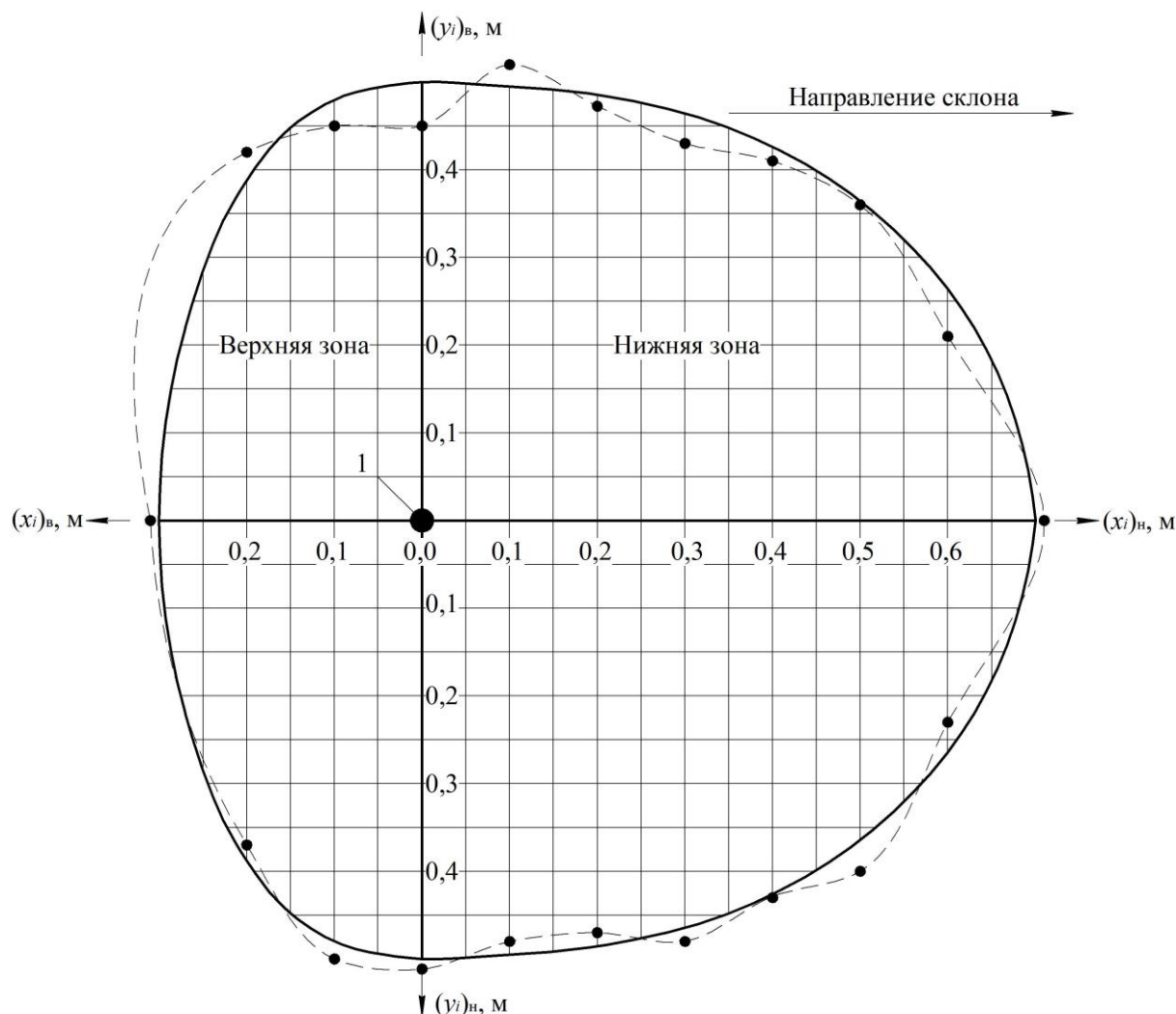
Опытные данные и расчетные значения координат границы локального контура влажности почвы по таблице 1 проиллюстрированы рисунком 2.

Результаты сопоставления расчетных значений координат оконтуривающей линии по рисунку 2 с их опытными значениями приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сопоставления расчетных значений координат с опытными данными

Table 2 – Results of comparison of calculated values of coordinates with experimental data

Значение x_i , м	Вверх по склону				Вниз по склону						
	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Расчетное значение y_i , м	0,0	0,38	0,48	0,50	0,48	0,47	0,46	0,43	0,36	0,20	0,0
Опытное значение y_i , м (слева)	0,0	0,42	0,45	10,45	0,52	0,47	0,43	0,41	0,39	0,21	0,0
Отклонение, %	0,0	+9,5	–6,7	+10,0	–7,7	0,0	–7,0	–4,9	+7,7	+4,8	0,0
Опытное значение y_i , м (справа)	0,0	0,34	0,50	0,47	0,48	0,47	0,48	0,43	0,40	0,23	0,0
Отклонение, %	0,0	–2,7	+10,0	–6,4	0,0	0,0	+4,2	+4,6	+2,5	+10,0	0,0



1 – вертикаль капания; ● – опытные значения;
----- – опытное очертание контура; ———— – расчетное очертание контура

**Рисунок 2 – Плановое очертание контура капельного
увлажнения почвы на склоновом участке**

Figure 2 – The planned outline of the drip soil moisture contour on the slope

Предложенная методика доведена до уровня программы для ЭВМ и, судя по данным рисунка 2 и таблицы 2, приемлема для практического использования.

Выводы

1 Разработана методика прогнозирования планового очертания и размеров контуров увлажнения почв на пологосклоновых земельных участках (с углом склона $\alpha_{\text{ск}} \leq 9^\circ$), формирующихся в южных суглинистых и глинистых черноземах при капельном поливе.

2 Апробация методики на конкретном примере показала ее приемлемость для ведения расчетов при проектировании капельных систем орошения.

Список источников

1. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Локальные контуры капельного увлажнения почв, формирующиеся на склоновых землях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1(57). С. 279–289.

2. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Форма и параметры контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 70–75.

3. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика прогнозирования контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 4(36). С. 72–87. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=636> (дата обращения: 01.12.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-72-87.

4. Боровой Е. П., Куприянов А. А., Удовидченко Я. Е. О зависимостях по определению диаметров капельных контуров влажности, формирующихся в южных черноземах // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 февр. 2021 г. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2021. Т. 3. С. 43–49.

5. Куприянов А. А., Удовидченко Я. Е. Методика прогнозирования плановых размеров контуров влажности почвы, формирующихся при капельном поливе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1(81). С. 67–72.

References

1. Vasiliev S.M., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2020. *Lokal'nye kontury kapel'nogo uvlazhneniya pochv, formiruyushchiesya na sklonovykh zemlyakh* [Local contours of drip soil moistening formed on sloping lands]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(57), pp. 279-289. (In Russian).

2. Vasiliev S.M., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2020. *Forma i parametry konturov kapel'nogo uvlazhneniya pochv na sklonovykh zemlyakh* [Form and parameters of drip soil moistening contours on slope lands]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 3, pp. 70-75. (In Russian).

3. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2019. [Prediction procedure for soil drip irrigation contours on slopes]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(36), pp. 72-87, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=636> [accessed 01.12.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-72-87. (In Russian).

4. Borovoy E.P., Kupriyanov A.A., Udovidchenko Ya.E., 2021. *O zavisimostyakh po opredeleniyu diametrov kapel'nykh konturov vlazhnosti, formiruyushchikhsya v yuzhnykh chernozemakh* [On dependencies for determining the diameters of drip moisture contours formed in the southern chernozem]. *Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Technologies in Agro-Industrial Complex under Modern Economic Conditions: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, vol. 3, pp. 43-49. (In Russian).

5. Kupriyanov A.A., Udovidchenko Ya.E., 2021. *Metodika prognozirovaniya planovykh razmerov konturov vlazhnosti pochvy, formiruyushchikhsya pri kapel'nom polive* [Prediction technique of soil moisture contours planned dimensions formed during drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(81), pp. 67-72. (In Russian).

Информация об авторах

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор;

А. А. Куприянов – младший научный сотрудник.

Information about the authors

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. A. Kupriyanov – Junior Researcher.

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 24.01.2022; одобрена после рецензирования 27.01.2022; принята к публикации 07.02.2022.

The article was submitted 24.01.2022; approved after reviewing 27.01.2022; accepted for publication 07.02.2022.

Обзорная статья

УДК 633.511:631.674

Влияние различных способов и режимов орошения на урожайность хлопчатника: отечественный и зарубежный опыт

Александр Николаевич Бабичев¹, Юлия Ивановна Недоцукова²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²nedotsukova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8221-949X>

Аннотация. Цель: изучение влияния различных способов и режимов орошения на урожайность хлопчатника. **Обсуждение.** Хлопок является важным натуральным волокном, представляющим собой основное сырье для текстильной промышленности. Многие зарубежные ученые исследовали влияние водного режима на рост и развитие хлопчатника. Китайские ученые широко используют капельное орошение под пластиковой мульчей. Ученые из Пакистана рекомендуют фермерам внедрить системы дождевания и капельного орошения, чтобы получать стабильные высокие урожаи. Американские ученые выяснили, что сокращение расхода воды для орошения на 25 % является эффективным приемом сбережения поливной воды при незначительном снижении урожайности и качества хлопчатника. В нашей стране исследования, посвященные изучению влияния способов и режимов орошения, проводились волгоградскими и астраханскими учеными. Волгоградские исследователи при капельном поливе и дождевании получили до 3 т/га хлопка-сырца, а астраханские ученые выяснили, что полив дождеванием благоприятно влияет на водно-воздушный режим хлопчатника. **Выводы.** В настоящее время хлопководство в России – малоизученная сфера, однако рост цен на импортное сырье для текстильной промышленности указывает на необходимость возрождения отечественного хлопководства. Это является актуальным направлением, позволяющим создать основу для развития текстильных, пищевых, фармацевтических, оборонных отраслей, организовать новые рабочие места и повысить экспортный потенциал страны. В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что максимальный доход можно получить при поливе дождеванием, а высокий и качественный урожай при капельном орошении. При снижении поливной нормы на 25 % урожайность хлопчатника существенно не меняется. Установлена необходимость проведения исследований различных способов и режимов орошения хлопчатника в почвенно-климатических условиях юга России.

Ключевые слова: хлопчатник, способы орошения хлопчатника, режимы орошения, водосберегающие технологии, капельное орошение, дождевание

Review article

The influence of various irrigation methods and irrigation regimes on cotton yield: domestic and foreign experience

Alexander N. Babichev¹, Julia I. Nedotsukova²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²nedotsukova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8221-949X>

Abstract. Purpose: to study the impact of various irrigation methods and regimes on cotton yields. **Discussion.** Cotton is an important natural fiber, which is the main raw material

for the textile industry. Many foreign scientists have studied the influence of water regime on the growth and development of cotton. Chinese scientists widely use drip irrigation under plastic mulch. Scientists from Pakistan recommend farmers to introduce sprinkling and drip irrigation systems to get stable high yields. American scientists have found that reducing irrigation water consumption by 25 % is an effective method of saving irrigation water with a slight decrease in yield and quality of cotton. In our country, studies on the influence of irrigation methods and regimes were carried out by Volgograd and Astrakhan scientists. Volgograd researchers obtained up to 3 t/ha of raw cotton using drip irrigation and sprinkling, and Astrakhan scientists found out that sprinkling irrigation has a positive effect on the air and water regime of cotton. **Conclusions.** At present, cotton growing in Russia is a little-studied area, but the price rise for imported raw materials for the textile industry indicates the need to revive domestic cotton growing. This is an urgent direction that allows creating a basis for development of textile, food, pharmaceutical, defense industries, organizing new jobs and increasing the country's export potential. As a result of the analysis, it can be concluded that the maximum income can be obtained with sprinkling irrigation, and a high and high-quality yield could be achieved with drip irrigation. With a decrease in irrigation rate by 25 %, the cotton yield does not change significantly. The necessity of conducting research on various methods and regimes of cotton irrigation under the soil and climatic conditions of the south of Russia has been established.

Keywords: cotton, cotton irrigation methods, irrigation regimes, water-saving technologies, drip irrigation, sprinkling

Введение. Хлопок является важным натуральным волокном, представляющим собой основное сырье для текстильной промышленности. Всего существует около 50 видов хлопчатника, однако в сельском хозяйстве используют четыре вида: травянистый, древовидный, обыкновенный и перуанский. Применение хлопчатника весьма многогранно. Прежде всего, из хлопчатника получают волокно. Хлопковое волокно перерабатывают в пряжу, из которой изготавливают ткани, нитки, веревки. Из семян хлопка добывают масло, которое применяется в пищевой, химической и косметической промышленности. Масло хлопчатника содержит полезные витамины группы В, Е и РР. Особенно популярно масло хлопчатника в Средней Азии. Из нерафинированного масла изготавливают олифу. Также хлопковое масло применяют в мыловарении. Линт используется для изготовления ваты, набивки подушек, производства бумаги, пластмасс, пороха, лакокрасочных материалов, служит основой для изготовления синтетических нитей. Для производства целлюлозы, картона, линолеума, спирта и др. применяются отходы хлопка. Исследователи утверждают, что из отходов хлопка можно получить биоразлагаемый пластик. Из листьев получают лимонную, уксусную, яблочную кислоты. С цветов и листьев пчелы собирают хлопковый мед, который обладает полезными свойствами для организма человека. Хлопок имеет большое значение, и с древности его называют «белым золотом».

Хлопок выращивается более чем в 80 странах, при этом, по данным FAO, Китай является основным производителем (23 % от общей доли мирового производства в 2018 г.), за ним следуют Индия – 21 %, США – 16 %, Бразилия – 10 % и Пакистан – 6 % (рисунок 1) [1].

При выращивании высококачественного хлопчатника имеет значение его водно-питательный режим. Недостаток воды угрожает устойчивости орошаемого хлопководства во многих регионах не только страны, но и мира. Следовательно, существует острая необходимость в изучении и определении способов и режимов орошения, оптимизирующих использование воды для производства хлопка.

Обсуждение. Производство хлопчатника полностью зависит от орошения. В насто-

ящее время повышение урожайности хлопчатника ограничивает недостаток водных ресурсов для орошения. Вследствие этого во многих странах возникает вопрос разработки водосберегающих режимов орошения. Так, например, ученые Нукусского филиала ТашГАУ Республики Узбекистан разработали и внедрили водосберегающую технологию, заключающуюся в укладке полиэтиленовой пленки в междурядье хлопчатника, что в опыте позволило значительно сохранить влагу в почве и получить 20 ц/га хлопко-сырца при отсутствии дефицита поливной воды [2].

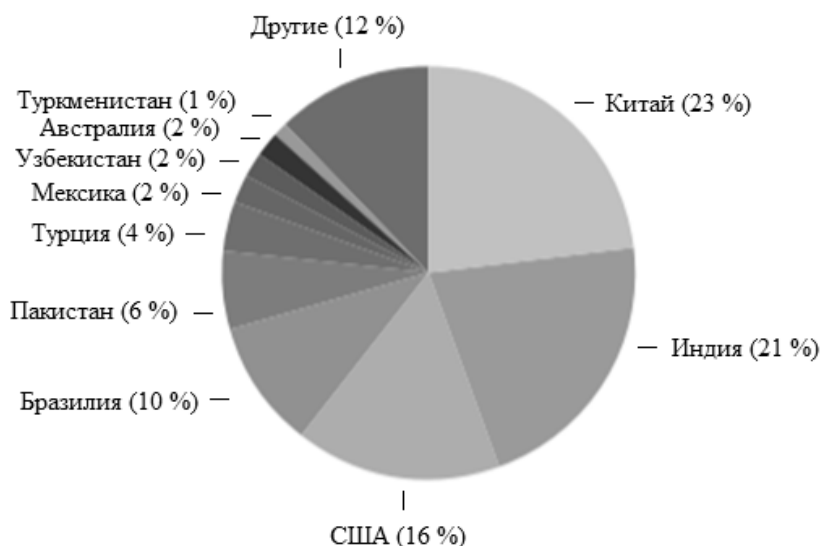


Рисунок 1 – Мировое производство хлопка в 2018 г. [1]

Figure 1 – World cotton production in 2018 [1]

Китайскими учеными в 2018 г. [3] исследовалось влияние поливной нормы и питательных веществ на урожайность хлопчатника с использованием пластиковой мульчи. В засушливых и полузасушливых регионах Китая, таких как бассейн р. Тарим в Синьцзян-Уйгурском автономном районе, в течение последних двух десятилетий широко используется капельное орошение под пластиковой мульчей [4–6]. Оно объединяет преимущества пластиковой мульчи и капельного орошения. В этой системе орошения почва покрывается пластиковым слоем для уменьшения испарения и взаимодействия атмосферы и почвы [7]. Капельное орошение под пластиковой мульчей может обеспечить достаточно тепла для посева в холодную весну, особенно для теплолюбивых культур, таких как хлопчатник, которые являются одними из самых значимых в сельскохозяйственном производстве Китая.

Американские ученые [8] при выращивании хлопчатника исследовали влияние различных режимов орошения на урожайность и качество волокна. Исследование проводилось в 2014–2017 гг. в западно-центральной части штата Оклахома. Использовали три режима орошения: FI – полное орошение, RI – сокращенное орошение до 75 % от FI, NI – без орошения. По сравнению с FI урожайность линта и семян при RI существенно не изменилась. Значительное снижение урожайности было выявлено при NI. Количество хлопка и семян было больше при RI по сравнению с FI. Авторы пришли к выводу, что сокращение расхода воды для орошения на 25 % является эффективным приемом сбережения поливной воды при незначительном снижении урожайности и качества хлопчатника.

В мае 2019 г. в районе Rahim Yar Khan в Пакистане, стране, которая является одним из лидеров по производству хлопчатника [9], проводился сравнительный эксперимент по изучению различных способов орошения и их влияния на урожай и качество

хлопчатника. Климат в этом регионе полусухой и субтропический, среднегодовое количество осадков 200–300 мм. Полив дождеванием помогает эффективно использовать воду тогда, когда это необходимо, тем самым контролировать потери на испарение. В результате проведенного эксперимента авторы пришли к выводу, что максимальный доход был получен при орошении дождеванием и составил 99403 рупии, но тем не менее наивысший урожай был получен при использовании капельного орошения – 990 кг/акр. Таким образом, фермерам рекомендуется внедрить системы как дождевания, так и капельного орошения, чтобы получать стабильные высокие урожаи.

Также изучением влияния различных способов и режимов орошения на хлопчатник занимались ученые из Австралии [10]. Исследование было направлено на определение эффективности использования воды для систем полива по бороздам, дождевания и капельного орошения. При проведении исследования использовалась программа для ЭВМ APSIM. Результаты показали, что системы полива по бороздам дают более низкие показатели урожайности, чем системы дождевания и капельного орошения, более того, дефицитное орошение является полезной перспективой для систем дождевания и капельного орошения. Следовательно, ученые из Австралии пришли к выводу, что производителям необходимо рассмотреть возможности внедрения дождевания или капельного орошения с методами дефицитного орошения.

В 2016–2018 гг. в Учебно-научно-производственном центре «Горная поляна» Волгоградского ГАУ проводились исследования, которые показали, что при капельном поливе и дождевании на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья разработанные режимы орошения в сочетании с агротехникой позволяют получать до 3 т/га хлопко-сырца [11].

Н. Д. Токарева, Н. А. Токарев, Л. С. Бочарникова изучали урожайность хлопчатника при разных способах полива в условиях юга России. Сравнивались три способа орошения: дождевание, полив по бороздам и капельный. Авторы пришли к выводу, что при дождевании урожай максимален (общий 7,0 т/га, доморозный – 6,0 т/га, после-морозный – 1,0 т/га), а применение полива дождеванием благоприятно влияет на водно-воздушный режим хлопчатника [12].

Промышленное производство хлопчатника в нашей стране находится на территории двух федеральных округов: Южного и Северо-Кавказского. Основные площади сосредоточены в Астраханской и Волгоградской областях, Ставропольском крае, небольшие находятся в Республике Дагестан [13].

В настоящее время хлопководство в России – малоизученная сфера, но рост цен на импортное сырье для текстильной промышленности указывает на необходимость возрождения хлопководства в России. Такая попытка уже предпринята. На Всероссийском агрономическом совещании 31 января 2018 г. директор Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза П. Чекмарев сообщил о необходимости создания отечественной сырьевой базы натуральных волокон, которая будет являться альтернативой импортным поставкам хлопка. В качестве пробного проекта предполагался посев около 1000 га в Волгоградской и Астраханской областях. В Ставрополье в 2018 г. был запущен проект по возделыванию хлопчатника, стоит отметить, что в промышленных масштабах в этом регионе хлопок не выращивался более полувека. В Ростовской области хлопчатник в крупных масштабах выращивали в 1940-х гг., по посевной площади Ростовская область занимала 4-е место (24,2 тыс. га хлопковых полей). Но в 1960 г. выращивание хлопка в Ростовской области было прекращено.

Выводы. Возрождение хлопководства в России является актуальным направлением, позволяющим создать фундамент для развития текстильных, пищевых, фармацевтических, оборонных отраслей, сформировать новые рабочие места и повысить экспортный потенциал страны.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что максимальный доход можно получить при поливе дождеванием, но высокий и качественный урожай при капельном орошении. При снижении поливной нормы на 25 % урожайность хлопчатника существенно не меняется. Установлена необходимость проведения исследований различных способов и режимов орошения хлопчатника в почвенно-климатических условиях юга России.

Список источников

1. Амрук Э. М., Пальмери Ф. Мировой рынок хлопка. Последние тенденции, прогнозы и изменения политики // Аналитическая записка по торговой политике [Электронный ресурс]. Рим: ФАО, 2021. № 41. URL: <https://www.fao.org/3/cb7232ru/cb7232ru.pdf> (дата обращения: 22.01.2021).

2. Аuezов О. П., Утепбергенов Б. К., Рамазанов Б. Н. Водосберегающая технология на посевах хлопчатника // Сельскохозяйственные технологии. 2019. Т. 1, № 4. С. 16–22.

3. Response mechanism of cotton growth to water and nutrients under drip irrigation with plastic mulch in Southern Xinjiang / M. Li, J. Xiao, Y. Bai, Y. Du, F. Zhang, H. Cheng, H. Wang // Journal of Sensors. 2020. 2575162. 16 p. <https://doi.org/10.1155/2020/2575162>.

4. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory / J. E. Ayars, C. J. Phene, R. B. Hutmacher, K. R. Davis, R. A. Schoneman, S. S. Vail, R. M. Mead // Agricultural Water Management. 1999. Vol. 42, no. 1. P. 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00025-6).

5. Evapotranspiration measurement and estimation using modified Priestley-Taylor model in an irrigated maize field with mulching / R. Ding, S. Kang, F. Li, Y. Zhang, L. Tong // Agricultural and Forest Meteorology. 2013. 168(1). P. 140–148. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.08.003.

6. Feipeng X., Yunkai L., Shumei R. Investigation and discussion of drip irrigation under mulch in Xinjiang Uygur Autonomous Region // Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering. 2003. Vol. 19, iss. 1. P. 25–27.

7. Mulching mode and planting density affect canopy interception loss of rainfall and water use efficiency of dryland maize on the Loess Plateau of China / J. Zheng, J. Fan, F. Zhang, S. Yan, J. Guo, D. Chen, Z. Li // Journal of Arid Land. 2018. Vol. 10, no. 5. P. 794–808. DOI: 10.1007/s40333-018-0122-y.

8. Impacts of variable irrigation regimes on cotton yield and fiber quality / B. Masasi, S. Taghvaeian, R. Boman, D. N. Moriasi, P. J. Starks // Agricultural & Environmental Letters. 2020. Vol. 5, iss. 1. e20031. <https://doi.org/10.1002/ael2.20031>.

9. Comparative study of different irrigation system for cotton crop in district Rahim Yar Khan, Punjab, Pakistan / M. Y. Ali, Sh. Saleem, M. N. Irshad, A. Mehmood, M. Nisar, I. Ali // International Journal of Agricultural Extension. 2020. Vol. 8, iss. 2. P. 131–138. DOI: 10.33687/ijae.008.02.3366.

10. Impacts of effects of deficit irrigation strategy on water use efficiency and yield in cotton under different irrigation systems / H. H. Shukr, K. G. Pembleton, A. F. Zull, G. J. Cockfield // Agronomy. 2021. Vol. 11, iss. 2. 231. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020231>.

11. Режим орошения хлопчатника при дождевании и капельном орошении в Нижнем Поволжье / А. С. Овчинников, Е. А. Ходяков, С. Г. Милованов, К. В. Бондаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3(55). С. 15–24.

12. Токарева Н. Д., Токарев Н. А., Бочарникова Л. С. Урожайность хлопчатника при разных способах полива в условиях юга России // Научный альманах. 2017. № 4-3(30). С. 385–388.

13. Дедов А. А. Хлопководство Российской Федерации: история, состояние и перспективы развития // Colloquium-Journal. 2020. № 17-2(69). С. 21–23.

References

1. Amruk E.M., Palmeri F., 2021. *Mirovoy rynek khlopka. Poslednie tendentsii, prognozy i izmeneniya politiki* [World cotton market. Recent trends, prospects and policy developments]. *Analiticheskaya zapiska po trgovoy politike* [Analytical Note on Trade Policy]. Rome, FAO, no. 41, available: <https://www.fao.org/3/cb7232ru/cb7232ru.pdf> [accessed 22.01.2021]. (In Russian).

2. Auezov O.P., Utepbergenov B.K., Ramazanov B.N., 2019. *Vodosberegayushchaya tekhnologiya na posevakh khlopchatnika* [Water-saving technology on cotton sowing]. *Sel'skokhozyaystvennye tekhnologii* [Agricultural Technologies], vol. 1, no. 4, pp. 16-22. (In Russian).

3. Li M., Xiao J., Bai Y., Du Y., Zhang F., Cheng H., Wang H., 2020. Response mechanism of cotton growth to water and nutrients under drip irrigation with plastic mulch in Southern Xinjiang. *Journal of Sensors*, 2575162, 16 p., <https://doi.org/10.1155/2020/2575162>.

4. Ayars J.E., Phene C.J., Hutmacher R.B., Davis K.R., Schoneman R.A., Vail S.S., Mead R.M., 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, vol. 42, no. 1, pp. 1-27, [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00025-6).

5. Ding R., Kang S., Li F., Zhang Y., Tong L., 2013. Evapotranspiration measurement and estimation using modified Priestley-Taylor model in an irrigated maize field with mulching. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168(1), pp. 140-148, DOI: 10.1016/j.agrfor.2012.08.003.

6. Feipeng X., Yunkai L., Shumei R., 2003. Investigation and discussion of drip irrigation under mulch in Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 19, iss. 1, pp. 25-27.

7. Zheng J., Fan J., Zhang F., Yan S., Guo J., Chen D., Li Z., 2018. Mulching mode and planting density affect canopy interception loss of rainfall and water use efficiency of dry-land maize on the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Land*, vol. 10, no. 5, pp. 794-808, DOI: 10.1007/s40333-018-0122-y.

8. Masasi B., Taghvaeian S., Boman R., Moriasi D.N., Starks P.J., 2020. Impacts of variable irrigation regimes on cotton yield and fiber quality. *Agricultural & Environmental Letters*, vol. 5, iss. 1, e20031, <https://doi.org/10.1002/ael2.20031>.

9. Ali M.Y., Saleem Sh., Irshad M.N., Mehmood A., Nisar M., Ali I., 2020. Comparative study of different irrigation system for cotton crop in district Rahim Yar Khan, Punjab, Pakistan. *International Journal of Agricultural Extension*, vol. 8, iss. 2, pp. 131-138, DOI: 10.33687/ijae.008.02.3366.

10. Shukr H.H., Pembleton K.G., Zull A.F., Cockfield G.J., 2021. Impacts of effects of deficit irrigation strategy on water use efficiency and yield in cotton under different irrigation systems. *Agronomy*, vol. 11, iss. 2, 231, <https://doi.org/10.3390/agronomy11020231>.

11. Ovchinnikov A.S., Khodyakov E.A., Milovanov S.G., Bondarenko K.V., 2019. *Rezhim orosheniya khlopchatnika pri dozhdevanii i kapel'nom oroshenii v Nizhnem Povolzh'e* [Irrigation regime of cotton under sprinkling and drip irrigation in the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(55), pp. 15-24. (In Russian).

12. Tokareva N.D., Tokarev N.A., Bocharnikova L.S., 2017. *Urozhaynost' khlopchatnika pri raznykh sposobakh poliva v usloviyakh yuga Rossii* [Cotton productivity under differ-

ent irrigation methods in the conditions of the south of Russia]. *Nauchnyy al'manakh* [Science Almanac], no. 4-3(30), pp. 385-388. (In Russian).

13. Dedov A.A., 2020. *Khlopkovodstvo Rossiyskoy Federatsii: istoriya, sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Cotton growing in the Russian Federation: history, state and development prospects]. *Colloquium-Journal*, no. 17-2(69), pp. 21-23. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

Ю. И. Недоцукова – аспирант, младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

J. I. Nedotsukova – Postgraduate Student, Junior Researcher.

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 interest.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022; одобрена после рецензирования 11.02.2022; принята к публикации 16.03.2022.

The article was submitted 09.02.2022; approved after reviewing 11.02.2022; accepted for publication 16.03.2022.

Научная статья

УДК 626.862

Методические подходы к расчету выноса биогенных веществ дренажным стоком для оперативного мониторинга сбросов в водоприемник

Елена Брониславовна Стрельбицкая¹, Антонина Павловна Соломина²

^{1, 2}Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

¹Strelbitskaya.elena@mail.ru

²t-solomin@yandex.ru

Аннотация. Цель: сформировать методические подходы, позволяющие определять вынос биогенных элементов дренажным стоком с локальных мелиорируемых участков водосборов рек и водоемов с привлечением в качестве исходной информации гидрометеорологических показателей наблюдений в оперативном режиме, учитывающих их неравномерность в пространственно-временном аспекте. **Материалы и методы.** Основой формирования подходов являлся отечественный и зарубежный опыт моделирования стока и методы расчета выноса биогенных элементов с водосборных территорий и прогнозирования их поступления в водные объекты. **Результаты и обсуждение.** Определены области применения результатов расчетов с использованием предложенных методических подходов. Сформулированы основные допущения, на которых строится расчетная схема. Предложен алгоритм вычислений, который состоит из трех блоков и сводится к последовательному расчету объемов дренажного стока на основе водобалансовых расчетов и размеров выноса биогенных веществ с локальных участков водосборов, позволяющий достоверно отразить экологическую обстановку на исследуемом мелиорируемом участке в оперативном режиме. Приведены перечень необходимой исходной информации и расчетные зависимости для вычисления составляющих водного баланса и массы выноса биогенных элементов дренажным стоком. В числе элементов стока рассмотрены семь основных ингредиентов, для каждого из которых приведены расчетные формулы. **Выводы.** Представленная схема расчета позволит определять характеристики стока на исследуемом участке в зависимости от конкретных гидрометеорологических параметров и рассчитывать вынос биогенных веществ с локальных мелиорируемых участков водосборов рек и водоемов, в полной мере охватывая процессы, участвующие в формировании биогенной нагрузки, и отражая динамику выноса в пространственно-временном аспекте в оперативном режиме.

Ключевые слова: дренажный сток, вынос загрязняющих веществ, расчет элементов водного баланса, оперативный режим, мониторинг

Original article

Methodological approaches to calculating the biogenic substances removal of drainage runoff for real-time monitoring of discharges into the water intake

Elena B. Strelbitskaya¹, Antonina P. Solomina²

^{1, 2}All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

¹Strelbitskaya.elena@mail.ru

²t-solomin@yandex.ru

Abstract. Purpose: to form methodological approaches that allow determining the biogenic elements depletion by drainage runoff from local reclaimed areas of catchment areas

of rivers and reservoirs, using hydrometeorological indicators of observations in the real-time mode as initial information, taking into account their non-uniformity in the spatio-temporal aspect. **Materials and methods.** The basis for the formation of approaches was domestic and foreign experience in runoff modeling and methods for calculating the biogenic elements removal from watershed areas and predicting their entry into water bodies. **Results and discussion.** The areas of application of the results of calculations using the proposed methodological approaches are determined. The main assumptions on which the calculation scheme is based are formulated. A calculation algorithm which consists of three blocks is proposed; it is limited to a sequential calculation of the volume of drainage flow based on water balance calculations and the amount of biogenic substances removal from local areas of watersheds, which makes it possible to reliably reflect the ecological situation in the studied reclaimed area in the operational mode. A list of necessary initial information and calculated dependences for calculating the components of water balance and the amount of biogenic elements removal by drainage flow are given. Among the elements of the runoff, seven main ingredients are considered, for each of which calculation formulas are given. **Conclusions.** The presented calculation scheme makes it possible to determine the characteristics of the runoff in the study area depending on specific hydrometeorological parameters and to calculate the biogenic substances removal from local reclaimed areas of catchment areas of rivers and reservoirs, fully covering the processes involved in the formation of nutrient load, and reflecting the dynamics of the removal in the spatio-temporal aspect in the online mode.

Keywords: drainage runoff, pollutant depletion, calculation of water balance elements, operational mode, monitoring

Введение. При мониторинге водных объектов, проводимом в настоящее время по действующим методикам, диффузные источники загрязнений практически не контролируются, в т. ч. на мелиорированных землях. На особенности поступления диффузного загрязнения с поверхностным, внутрипочвенным и грунтовым стоком существенно влияют характер сельскохозяйственного использования земель, нормы и виды вносимых удобрений, динамика климатических показателей и их внутригодовые флуктуации, вызванные потеплением климата. Проведение мониторинга в таких условиях с целью управления диффузным загрязнением и обоснования водоохранных мероприятий возможно при разработке специального методического обеспечения [1].

В настоящее время накоплен значительный опыт разработки расчетных методов и математических моделей для решения задач, связанных с оценкой стока загрязняющих веществ с водосборных бассейнов, прогнозами выноса биогенных веществ (БВ), оценкой различных антропогенных воздействий на сток, проектированием водоохранных сооружений. Особое внимание уделяется выносу БВ с водосборов в связи с тем, что поступление именно их вызывает загрязнение и антропогенное эвтрофирование водоемов и водотоков. При анализе динамики БВ в дренажном стоке с мелиорируемых территорий и расчете их выноса используются, как правило, обобщенные оценки выноса, так как они основаны на учете усредненных показателей, получаемых при обработке статистической информации [2]. Многие существующие расчетные методы и модели дают лишь схематическое представление о процессе формирования биогенной нагрузки и ее динамике и не могут быть использованы для прогнозирования и оптимизации биогенного загрязнения водных объектов.

Для оперативного мониторинга сбросов в водоприемник при расчете выноса БВ дренажным стоком с учетом пространственного распределения осадков необходимо применять методические подходы, учитывающие два контура взаимосвязанных процессов, обуславливающих вынос БВ с мелиорируемой территории. Прежде всего, это процессы формирования объемов дренажного стока с отдельных участков на основе

водобалансовых расчетов с привлечением в качестве исходной информации конкретных гидрометеорологических показателей наблюдений в оперативном режиме, учитывающих их неравномерность в пространственно-временном аспекте. Вторым контуром являются вопросы расчета выноса биогенных элементов дренажным стоком для каждого локального участка мелиорируемого объекта.

Материал и методы. Методические подходы к расчету выноса загрязняющих веществ, определяющего формирование биогенной нагрузки на водоприемники дренажного стока, построение алгоритма вычислений базировались на изучении, анализе, обобщении литературных, нормативно-методических материалов и положений. Основой формирования подходов явился отечественный и зарубежный опыт моделирования стока и методы расчета выноса биогенных элементов с водосборных территорий и прогнозирования их поступления в водные объекты, которые отличаются друг от друга структурой, входными и выходными характеристиками, используемыми показателями.

Результаты и обсуждение. Расчет выноса БВ дренажным стоком с учетом пространственного распределения осадков для оперативного мониторинга сбросов в водоприемник следует производить для решения следующих вопросов:

- максимально полного учета временной и пространственной неоднородности гидрометеорологических процессов, изучения взаимодействия гидрологических и агрохимических процессов между собой, разработки предложений по совершенствованию системы мониторинга диффузного загрязнения водных объектов;

- сопоставления результатов расчетов по частным водосборам на основании оценки пространственного распределения и неравномерности выноса БВ, выявления зон повышенной биогенной нагрузки, проведения районирования территории по значениям выноса БВ и создания экологических карт влияния природно-аграрных систем на биогенное загрязнение вод;

- корректировки применяемых природоохранных сооружений и мероприятий, оптимизации режимов функционирования водосборных мелиорируемых территорий, размещения сельскохозяйственных угодий и режимов их обработки.

Основные допущения, на которых строится расчетная схема:

- расчет выноса производится для вегетационного периода, в качестве основного расчетного периода принимается временной интервал, равный месяцу;

- интенсивность выноса загрязняющих веществ считается пропорциональной объему дренажного стока с водосбора, а также непроизводительным потерям поливной воды, которые зависят как от свойств почв, так и от норм и режимов орошения;

- для мелиорируемых сельскохозяйственных водосборов в вегетационный период вынос БВ пропорционален исходным запасам подвижных форм питательных веществ в почвах и дозам внесения минеральных и органических удобрений, а также зависит от сроков и технологий их внесения, характера использования земель, состава культур и применяемой агротехники;

- предположение о пространственной однородности поверхности, допустимое для локального водосбора или одного сельскохозяйственного поля.

Схема расчета, основанная на вышеперечисленных допущениях и использующая набор эмпирических зависимостей, позволяет определять характеристики стока с учетом элементов их водного баланса в зависимости от конкретных гидрометеорологических параметров и рассчитывать вынос БВ с отдельных локальных мелиорируемых участков водосборов рек и водоемов в оперативном режиме. Алгоритм вычислений сводится к последовательному расчету параметров и состоит из трех основных блоков, его структурная схема представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общая структурная схема алгоритма расчета выноса биогенных веществ дренажным стоком

Figure 1 – General structure diagram for calculation algorithm of nutrient removal by drainage runoff

1 Блок гидрометеорологической и другой исходной информации.

Территория исследуемого водосбора разбивается (с использованием ГИС-технологий по цифровым картам или с помощью дешифрирования космических снимков) на ряд локальных водосборов, в каждом из которых выявляется структура входящих в него ландшафтов и определяется их площадь. Для определения размеров выноса БВ дренажным стоком необходима следующая исходная информация [3, 4], которая задается по результатам обследования (данным изысканий) либо определяется по справочным и нормативным материалам, официальным данным статистики по агропромышленному комплексу или конкретных сельхозпредприятий:

- гидрометеорологические параметры (температура воздуха, количество осадков) регистрируются метеостанцией в оперативном режиме наблюдений;
- объемы дренажного стока с мелиорируемого водосборного участка вычисляются в блоке гидрологических расчетов;
- характеристики рельефа водосборного участка и состояния поверхности почвы, геоморфологические, гидрогеологические особенности участка;
- данные почвенных исследований: сведения о типах почв, водно-физические характеристики почвогрунтов;
- сведения о запасах влаги в пахотном слое почв;
- данные о содержании в почве БВ;
- данные о структуре сельхозпроизводства, землепользовании на исследуемом водосборном участке: структуре посевных площадей, применяемых севооборотах, ведущих сельскохозяйственной культуре;
- сведения об используемых удобрениях: виды, формы, нормы и сроки внесения минеральных и органических удобрений;
- характеристики режимов осушения и увлажнения, глубины залегания грунтовых вод, величины поливных и оросительных норм.

Конкретная гидрометеорологическая и другая информация служит основой для водобалансовых расчетов при определении объемов дренажного стока, а также используется в формулах для расчета размеров выноса БВ дренажным стоком.

2 Блок гидрологических расчетов.

Основные пути переноса и масса загрязняющих компонентов определяются особенностями функционирования водосбора как гидрологической системы и связаны с по-

ступлением осадков, суммарным испарением, инфильтрационным питанием грунтовых вод, фильтрацией грунтовых вод, поверхностным и внутрипочвенным стоком и другими факторами. Для расчета выноса БВ дренажным стоком с учетом пространственного распределения осадков *объем дренажного стока* следует устанавливать на основе водобалансовых расчетов по формулам [5]:

$$W^{\text{ДР}} = (V_{qdw} - V_{q^{-}dw}) + (V_{qsw} - V_{q^{-}sw}) + (P \pm W_{\text{п}}) + (B - C) - E_{\text{п}} - (E_{ds} + U) \pm V_{\gamma}$$

$$\text{или } W^{\text{ДР}} = (V_{qdw} - V_{q^{-}dw}) + \alpha V_l \pm q \pm V_{\gamma},$$

где $W^{\text{ДР}}$ – дренажный сток, м³/га;

V_{qdw} и $V_{q^{-}dw}$ – соответственно приток и отток поверхностных вод, м³/га;

V_{qsw} и $V_{q^{-}sw}$ – соответственно приток и отток грунтовых вод, м³/га;

P – атмосферные осадки, м³/га;

$W_{\text{п}}$ – поверхностный сток, м³/га;

B – оросительная норма, м³/га;

C – сброс с поверхности полей, м³/га;

$E_{\text{п}}$ – испарение поверхностных вод, м³/га;

E_{ds} – испарение с поверхности почвы, м³/га;

U – транспирация, м³/га;

$\pm V_{\gamma}$ – подпитывание грунтовых вод напорными водами (+) или перетекание грунтовых вод вниз (–), м³/га;

α – коэффициент, выражающий долю от фильтрации из каналов, идущую на питание грунтовых вод;

V_l – фильтрационные потери воды из каналов, м³/га;

$\pm q$ – вертикальный влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, м³/га.

Важнейшим приходным элементом водного баланса являются атмосферные осадки, расходным – суммарное испарение. В зависимости от конкретных условий уравнение водного баланса следует упрощать. В частности, при расположении мелируемой территории на водоразделе можно принять $V_{qsw} = 0$ м³/га; при отсутствии напорного подпитывания балансового слоя следует принимать $V_{\gamma} = 0$ м³/га; при высокой технике полива сброс с поверхности полей $C = 0$ м³/га; при применении закрытых оросительных систем значительно уменьшаются фильтрационные потери воды из каналов V_l [5, 6].

Измерение и вычисление необходимых для использования этого уравнения величин производится следующим образом.

1 Исходные данные о количестве *осадков* (P) получают на метеостанции в оперативном режиме.

2 *Суммарное испарение* (равное сумме величин испарения с поверхности почвы E_{ds} , м³/га, и транспирации U , м³/га) в течение вегетационного периода следует принимать равным водопотреблению, отвечающему применению современной оросительной техники, поддержанию высокого агротехнического фона и плодородия почв. Оно устанавливается расчетами или экспериментальными данными [6]. Суммарное испарение E , м³/га, за вегетационный период на осушаемых землях рекомендуется определять по формуле А. М. Янголя [7]:

$$E = a \cdot Y + n \sum D_p,$$

где a – коэффициент, зависящий от вида сельскохозяйственных культур;

Y – проектная урожайность сельскохозяйственных культур, т/га;

n – коэффициент, зависящий от средней за вегетационный период глубины залегания уровня грунтовых вод H ;

$n \sum D_p$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за вегетационный период, мм (по данным метеостанции для среднего по влажности года), для засушливого года принимается с повышающим коэффициентом 1,15, для острозасушливого 1,25.

3 Величина оросительной нормы B , м³/га, устанавливается по результатам расчета режима орошения [6].

4 Поверхностный приток V_{qdw} , м³/га, и отток V_{q-dw} , м³/га, на участке следует определять по замерам на гидропостах, подземный приток V_{qsw} , м³/га, и отток V_{q-sw} , м³/га, – по материалам гидрогеологических изысканий и наблюдениям в сети режимных скважин гидрогеолого-мелиоративной партии. При отсутствии данных наблюдений за основными элементами водного баланса следует производить их расчет по нижеприведенным формулам [8].

Приток поверхностных вод F_{sur} , мм, и грунтовых вод F_{sub} , мм, с прилегающей территории определяется по формулам:

$$F_{sur} = h_0 \cdot k,$$

где h_0 – слой стока, мм;

k – коэффициент стока, зависящий от залесенности, заболоченности и распаханности территории водосбора, принимается равным 0,25–0,3;

$$F_{sub} = \frac{K_{cp} \cdot T \cdot i \cdot L \cdot t}{A_{br}},$$

где K_{cp} – средний коэффициент фильтрации водоносных пластов, м/сут;

T – суммарная мощность водоносных пластов, м;

i – уклон потока грунтовых вод;

L – ширина потока грунтовых вод, м;

t – временной интервал подпитки грунтовыми водами, сут;

A_{br} – осушаемая площадь брутто, га.

Объем влагообмена между почвенными и грунтовыми водами V_{gr} , мм, определяется по формуле:

$$V_{gr} = ET_{crop} \cdot \phi,$$

где ET_{crop} – суммарное водопотребление сельскохозяйственной культуры, мм;

ϕ – коэффициент влагообмена, принимается равным 0,1–0,15.

Рассчитанные объемы дренажного стока с локальных участков водосборов служат исходной информацией для расчетных формул оценки выноса БВ.

3 Блок определения выноса БВ дренажным стоком.

За основу определения выноса основных БВ дренажным стоком для локального участка мелиорируемого объекта следует принимать расчетные зависимости действующего нормативного документа ВТР-П-30-81 [3]. Формулы для определения массы выноса биогенных элементов представлены в таблице 1 [3, 4, 9].

Показатели расчетных формул:

K_1 – коэффициент, характеризующий остаточное количество подвижных форм азота минеральных удобрений после фиксации почвой и усвоения почвенными микроорганизмами, газообразных потерь, выноса урожаем сельскохозяйственных культур;

N_y и N_0 – нормы внесения соответственно минерального и органического удобрения (принимаются по фактическим значениям или зональным рекомендациям), кг/га;

$N_{\text{п}}$ – содержание минерального азота в пахотном слое почвы, кг/га;

$W^{\text{др}}$ – объем дренажного стока, м³/га;

$W^{\text{пр}}$ – запас влаги при предельной полевой влагоемкости в почвенном слое до уровня грунтовых вод или до глубины заложения дрена, м³/га;

α , β – коэффициенты, характеризующие соотношение нитратов и аммонийного азота в дренажном стоке;

n_1 – коэффициент, характеризующий содержание растворенного фосфора в почвенной влаге;

$W_{\text{пк}}^{\text{пр}}$ – запас влаги в пахотном слое почв, м³/га;

K_B – валовое содержание калия в пахотном слое, кг/га.

Таблица 1 – Формулы для определения массы выноса биогенных элементов дренажным стоком [3, 4, 9]

Table 1 – Formulas for determining the mass of biogenic elements depletion by drainage runoff [3, 4, 9]

В кг/га	
Ингредиент	Вынос ингредиентов дренажным стоком
Азот	$B_N^{\text{др}} = \frac{(K_1 \cdot N_y + 0,002 \cdot N_0 + 0,07 \cdot N_{\text{п}}) \cdot W^{\text{др}}}{W^{\text{пр}} + W^{\text{др}}}$
Нитраты	$B_{\text{NO}_3^-} = 4,5 \cdot B_N^{\text{др}} \cdot \alpha$
Аммоний	$B_{\text{NH}_4^+} = 1,28 \cdot B_N^{\text{др}} \cdot \beta$
Фосфор	$B_P^{\text{др}} = \frac{n_1 \cdot W_{\text{пк}}^{\text{пр}} \cdot W^{\text{др}}}{W^{\text{пр}} + W^{\text{др}}}$
Калий	$B_K^{\text{др}} = \frac{[(0,2 \cdot N_y + 0,0012 \cdot N_0 + 0,008 \cdot K_B) \cdot 0,018] \cdot W^{\text{др}}}{W^{\text{пр}} + W^{\text{др}}}$

Выводы

1 Предложенные методические подходы к расчету выноса БВ дренажным стоком с учетом конкретных гидрометеорологических параметров, полученных в оперативном режиме, могут служить для более глубокого изучения взаимодействия отдельных гидрологических и агрохимических процессов и будут способствовать:

- выявлению зон повышенной биогенной нагрузки и проведению районирования мелиорируемой территории по значениям выноса загрязняющих веществ;

- корректировке применяемых природоохранных сооружений и мероприятий, оптимизации режимов функционирования водосборных мелиорируемых территорий, размещения сельскохозяйственных угодий и режимов их обработки;

- разработке предложений по совершенствованию системы мониторинга диффузного загрязнения водных объектов на основании максимально полного учета вре-

менной и пространственной неоднородности, свойственной гидрометеорологическим природным процессам.

2 Представленная схема расчета, использующая набор эмпирических зависимостей, позволит определять характеристики стока на исследуемом участке с учетом элементов их водного баланса в зависимости от конкретных гидрометеорологических параметров и рассчитывать вынос БВ с локальных мелиорируемых участков водосборов рек и водоемов, в полной мере охватывая процессы, участвующие в формировании биогенной нагрузки, и отражая динамику выноса в пространственно-временном аспекте в оперативном режиме.

Список источников

1. К обоснованию мероприятий по предотвращению диффузного загрязнения поверхностных водных объектов при орошении на основе имитационного моделирования / В. В. Бородычев, А. Л. Бубер, С. Д. Исаева, Ю. П. Добрачев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3(55). С. 323–332.

2. Хрисанов Н. И., Осипов Г. К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 279 с.

3. Руководство по определению расчетных концентраций минеральных, органических веществ и пестицидов в дренажном и поверхностном стоке с мелиорируемых земель: ВТР-П-30-81. М.: М-во мелиорации и вод. хоз-ва, ВНИИГиМ, 1982. 42 с.

4. Разработка прототипов экспертных систем поддержки принятия решений по оптимизации мероприятий, направленных на охрану водных объектов от диффузных загрязнений, на основе имеющихся данных мониторинга, расчетных данных о величине диффузного загрязнения, оценок эффективности альтернативных стратегий водоохраны при различных сценариях антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборы (на примере двух пилотных водных объектов мелиорируемых территорий в зоне осушения и орошения): отчет о НИР / ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»; науч. рук.: Кизяев Б. М. М., 2019. 234 с. № госрегистрации АААА-А19-119120490078-0. Инв. № 0430-2019-0001-С-01.

5. Осушительные системы двухстороннего действия: науч. обзор / С. М. Васильев, В. Н. Щедрин, А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин, В. В. Слабунов, А. С. Штанько, С. Л. Жук; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2018. 117 с. Деп. в ВИНТИ РАН 06.08.18, № 90-В2018.

6. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования: ВСН 33-2.2.03-86. М.: М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, 1987. 173 с.

7. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Основы гидромелиорации» / сост.: С. Е. Никулин; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. Харьков: ХНАГХ, 2012. 120 с.

8. Мелиорация переувлажненных земель: метод. указания / сост.: А. В. Кравчук; ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2016. 28 с.

9. Дунаев А. И. Оценка воздействия и природоохранные мероприятия при осушении сельскохозяйственных земель: учеб. пособие. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2013. 132 с.

References

1. Borodychev V.V., Buber A.L., Isaeva S.D., Dobrachev Yu.P., 2019. *K obosnovaniyu meropriyatiy po predotvrashcheniyu diffuznogo zagryazneniya poverkhnostnykh vodnykh*

ob"ektov pri oroshenii na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [To the justification of measures to prevent diffuse pollution of surface water bodies during simulation-based irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(55), pp. 323–332. (In Russian).

2. Khryanov N.I., Osipov G.K., 1993. *Upravlenie evtrofirovaniem vodoemov* [Management of Eutrophication of Water Bodies]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 279 p. (In Russian).

3. *Rukovodstvo po opredeleniyu raschetnykh kontsentratsiy mineral'nykh, organicheskikh veshchestv i pestitsidov v drenazhnom i poverkhnostnom stoke s melioriruemykh zemel'* [Guidelines for Determining the Calculated Concentrations of Mineral, Organic Substances and Pesticides in Drainage and Surface Runoff from Reclaimed Lands: VTR-P-30-81]. Moscow, Ministry of Reclamation and Water Industry, VNIIGiM, 1982, 42 p. (In Russian).

4. Kizyaev B.M., 2019. *Razrabotka prototipov ekspertnykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy po optimizatsii meropriyatiy, napravlennykh na okhranu vodnykh ob"ektov ot diffuznykh zagryazneniy, na osnove imeyushchikhsya dannykh monitoringa, raschetnykh dannykh o velichine diffuznogo zagryazneniya, otsenok effektivnosti al'ternativnykh strategiy vodookhrany pri razlichnykh stsensariyakh antropogennoy nagruzki na vodnye ob"ekty i ikh vodosbory (na primere dvukh pilotnykh vodnykh ob"ektov melioriruemykh territoriy v zone osusheniya i orosheniya)* [Development of Prototypes of Expert Decision Support Systems for Optimizing Measures Aimed at Protecting Water Bodies from Diffuse Pollution, Based on Available Monitoring Data, Calculated Data on the Magnitude of Diffuse Pollution, Assessments of the Efficiency of Alternative Water Protection Strategies under Various Scenarios of Anthropogenic Pressure on Water Bodies and Their Watersheds (on the Example of Two Pilot Water Bodies of Reclaimed Territories in the Drainage and Irrigation Zone): research report]. Moscow, 234 p. (In Russian).

5. Vasil'ev S.M., Shchedrin V.N., Kozhanov A.L., Voevodin O.V., Slabunov V.V., Shtanko A.S., Zhuk S.L., 2018. *Osushitel'nye sistemy dvukhstoronnego deystviya: nauchnyy obzor* [Drainage Systems of Double-Action: scientific review]. Novocherkassk, 117 p., deposited in VINITI RAS on 06.08.2018, no. 90-B2018. (In Russian).

6. *Meliorativnye sistemy i sooruzheniya. Drenazh na oroshaemykh zemlyakh. Normy proektirovaniya* [Reclamation Systems and Structures. Drainage on Irrigated Lands. Design Standards]. VSN 33-2.2.03-86. Moscow, Ministry of Reclamation and Water Industry of the USSR, 1987, 173 p. (In Russian).

7. Nikulin S.E., 2012. *Metodicheskie ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam po distsipline "Osnovy gidromelioratsii"* [Guidelines for Practical Exercises in the Discipline "Fundamentals of Hydromelioration"]. Kharkov National Academy of Municipal Economy, Kharkov, 120 p. (In Russian).

8. Kravchuk A.V., 2016. *Melioratsiya pereuvlazhnennykh zemel': metod. ukazaniya* [Reclamation of Waterlogged Lands: guidelines]. Federal State Educational Institution of Higher Education "Saratov State Agrarian University", Saratov, 28 p. (In Russian).

9. Dunaev A.I., 2013. *Otsenka vozdeystviya i prirodookhrannye meropriyatiya pri osushenii sel'skokhozyaystvennykh zemel': uchebnoe posobie* [Impact Assessment and Environmental Protection Measures for Draining Agricultural Lands: textbook]. Bryansk, Bryansk State Agricultural Academy Publ., 132 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. Б. Стрельбицкая – ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук;

А. П. Соломина – старший научный сотрудник.

Information about the authors

E. B. Strelbitskaya – Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences;

A. P. Solomina – Senior Researcher.

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 25.01.2022; одобрена после рецензирования 02.02.2022; принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted 25.01.2022; approved after reviewing 02.02.2022; accepted for publication 15.02.2022.

Обзорная статья

УДК 631.6.004.3

**Автоматизированные информационные системы как фактор
повышения эколого-экономической эффективности мелиорации**

Гульшат Халиловна Ялалова

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, gylkin.86@mail.ru

Аннотация. В условиях переходного периода от традиционной экономики к цифровым методам агропроизводства особую актуальность приобретает использование автоматизированных информационных систем для формирования управляющих решений по развитию и размещению мелиораций и оценки их эколого-экономической эффективности. **Цель:** расширение практики применения автоматизации технологических процессов мелиорации, обеспечивающих повышение эколого-экономической эффективности мелиоративной деятельности и, как следствие, конкурентоспособности агропроизводства на мелиорируемых землях и экологическую устойчивость агропроизводства в целом. **Обсуждение:** выполнен анализ целесообразности использования автоматизированных информационных систем для решения задач формирования биологического разнообразия агроландшафта (ландшафта); определения продуктивности агробиоценоза (биоценоза); устойчивости экосистемы к внешним факторам, включая выполняемые мелиоративные мероприятия; мощности антропогенного воздействия на природную среду. **Выводы:** проведенные исследования подтвердили бытующее мнение экспертов о целесообразности применения автоматизации на базе компьютерных технологий для принятия управленческих решений, повышающих эколого-экономическую эффективность мелиорации.

Ключевые слова: агропроизводство, автоматизация, информационные системы, мелиорация, развитие, эколого-экономическая эффективность, критерии, оценка, принятие решений, управляющие воздействия

Review article

**Automated information systems as a factor improving
the environmental and economic efficiency of land reclamation**

Gulshat Kh. Yalalova

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after
A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, gylkin.86@mail.ru

Abstract. In transition period from the traditional economy to digital methods of agricultural production, the use of automated information systems for the formation of managerial decisions for development and placement of land reclamations and the assessment of their environmental and economic efficiency is of particular relevance. **Purpose:** to expand the practice of using automation of technological processes of land reclamation, ensuring an increase in the environmental and economic efficiency of land reclamation and, as a result, the competitiveness of agricultural production on reclaimed lands and the environmental sustainability of agricultural production as a whole. **Discussion:** an analysis was made of the feasibility of using automated information systems to solve the problems of forming the biological diversity of an agrolandscape (landscape); determining the productivity of agrobiocenosis (biocenosis); sustainability of the ecosystem to external factors, including ongoing reclamation activities; the

power of anthropogenic impact on the natural environment. **Conclusions:** the conducted studies confirmed the prevailing opinion of experts on the expediency of using automation based on computer technologies for making managerial decisions that increase the environmental and economic efficiency of land reclamation.

Keywords: agricultural production, automation, information systems, land reclamation, development, environmental and economic efficiency, criteria, evaluation, decision-making, control actions

Введение. Экологическая и экономическая эффективность функционирования комплекса агромелиоративных мероприятий является ключевым показателем целесообразности инвестирования в его реализацию [1]. Возросшая экологизация общества требует, чтобы необходимость хозяйствующих субъектов в повышении финансовой отдачи от вложений в процесс мелиорации за счет ее развития и (или) интенсификации не нарушала серьезным, критичным образом экосистему агроландшафта в целом.

Одним из перспективных способов успешного решения вопросов эколого-экономической эффективности сельскохозяйственных мелиораций специалисты считают внедрение в практику аграриев автоматизированных информационных систем [2]. В данном случае под автоматизированной информационной системой принято понимать информационную систему, ориентированную на использование вычислительной техники для создания, приема, обработки и выдачи специализированной информации в области принятия решений и назначения управляющих мелиоративных воздействий как по общим, стратегическим вопросам мелиоративной деятельности, так и по создаваемому конкретному, рабочему мелиоративному комплексу. В условиях переходного периода от традиционной экономики к цифровым методам становления цифровизации такой подход весьма своевременен и актуален.

Обсуждение. Необходимо отметить, что для оценки экологической ситуации на мелиорируемой и прилегающей к ней территории определить критерии эффективности без использования автоматизированных информационных систем бывает крайне непросто. Об экологическом благополучии сложившегося природопользования и корректируемой природной среды в первую очередь свидетельствуют положительные оценки таких критериев, как:

- биологическое разнообразие агроландшафта;
- продуктивность агробиоценоза (биоценоза);
- устойчивость экосистемы к внешним факторам, в т. ч. проводимым мелиоративным мероприятиям;
- мощность антропогенного воздействия.

Достоверная количественная оценка биологического разнообразия, отвечающая на вопрос, достаточно ли биологических видов в данной местности (на мелиорируемой территории) или нет, выполняется сравнением показателей конкретного региона (объекта) с нормативными критериальными значениями этих показателей или с показателями других, аналогичных по условиям эксплуатации регионов (объектов). Использование спутниковых систем, специализированных баз данных по биологическим видам, а также сети Интернет позволяет получить в большей или меньшей степени целостную картину по данному вопросу в сравнении с другими регионами, но, самое главное, в проекции на ситуацию до проведения комплекса мелиоративных мероприятий. Понятно, что подобные исследования можно выполнить и традиционно, без привлечения автоматизированных информационных систем, однако это займет немало времени. Автоматизация же обеспечивает максимально быстрое получение необходимой информации и выполнение соответствующей ей корректировки мелиоративных мероприятий.

Объективная оценка продуктивности агробиоценоза (биоценоза) кроме непосредственного сбора информации требует сложных математических расчетов, которые оптимально возложить на автоматизированную информационную систему [3].

Проблема оценки устойчивости экосистемы к внешним факторам, в т. ч. и к проводимым мелиоративным мероприятиям, заключается в необходимости использования сложнейших по своей сути аналитических методик прогнозирования возможных событий. Без использования автоматизированных вычислительных комплексов, входящих составной частью в автоматизированные информационные системы, обойтись практически невозможно. Нет сомнений, что в дальнейшем на смену операторам и инженерам придет искусственный интеллект. Если научить нейросети адекватно прогнозировать последствия того или иного управленческого решения, то эффективность мелиорации однозначно будет стремиться к запредельным показателям [4]. В любом случае начинать нужно с малого, и в нашем конкретном случае с расширения практического использования автоматизированных информационных систем.

В целом считается, что для нормального функционирования экологической системы в рамках ведения сельскохозяйственной деятельности от 40 % земель должны быть либо природными, т. е. не затронутыми агропроизводством, либо восстановленными после антропогенного вмешательства. Понятно, что для западного региона Российской Федерации, как, в принципе, и для остальной Восточной (да и Центральной) Европы, добиться подобных результатов невозможно, однако стремиться к этому необходимо. Помочь с получением материала для оценки сложившейся ситуации и необходимых прогнозов ее развития может аэро- и космическая съемка со спутников. Дальше полученные снимки необходимо обработать и провести сравнительный анализ, чем обычно занимаются аналитические модули автоматизированных информационных систем.

Важность роли автоматизированных информационных систем **при создании экологических каркасов агроландшафтов** трудно переоценить. Организация гармоничного симбиоза между антропогенными и природой созданными ландшафтами является приоритетной задачей использования автоматических информационных систем. Только в этом случае можно будет говорить о целостности природного участка, его регенерации, несмотря на проведение мелиоративных мероприятий. Для повышения функционала средообразования и средорегулирования используются так называемые экологические каркасы, которые в общем виде подразделяют на три иерархических уровня: региональный, мезо- и топоуровень.

В случае использования автоматизированных информационных систем для оценки функционирования экологического каркаса на региональном уровне речь идет о достаточно крупной территории с различными природными и даже метеорологическими условиями. Особенностью укрупненной системы являются уже существующие инженерные коммуникации, дороги, искусственные водоемы и другие объекты деятельности человека. При этом стоит задача сохранить природные барьеры, которые, собственно, и выступят препятствием для негативных факторов воздействия человека. Это могут быть лесные или болотные массивы. Для определения зон их оптимального расположения, точнее, участков, которые необходимо сохранить в обязательном порядке, приходится собирать и обрабатывать огромные массивы данных. Справиться с подобной задачей вручную нереально, по крайней мере, при желании получить объективно качественный результат. Использование специализированных автоматических информационных систем, адаптированных под обработку больших массивов данных, позволяет решать подобные задачи в короткие промежутки времени и формировать перспективные управленческие решения.

Создание и оценка параметров экологического каркаса мезоуровня, или, как его

еще принято называть, провинциального уровня экологического каркаса, выполняется для территорий районных административных единиц. Необходимо понимать, что для мезоуровня разработана достаточно серьезная нормативно-правовая и законодательная природоохранная база. Руководителям профильных ведомств администрации, принимающим участие в оценке экологической безопасности планируемых мелиоративных мероприятий на территории административного формирования, необходимо учитывать не только региональную, но и федеральную базу нормативно-методических документов. Так как управленцы не всегда обладают достаточным опытом в области оценки функционирования мелиорации и сопоставления ее с законодательной и нормативно-правовой базами, использование автоматизированной информационной системы с обновляемой базой законов и нормативно-правовых документов всех уровней административного деления территории видится оптимальным решением.

Экологический каркас топоуровня или местный организуется в рамках отдельно взятого сельскохозяйственного предприятия. Любые действия мелиоративного характера неизбежно сказываются на состоянии окружающей среды, к сожалению, не всегда со знаком плюс. Автоматизированные информационные системы позволяют руководителям и инженерам предприятий принимать адекватные управленческие решения непосредственно на местах на основе информации, формируемой с их помощью.

В целом современные автоматизированные информационные системы, ориентированные на обработку данных, связанных с процессом мелиорации, в обязательном порядке должны иметь в настройках функцию установки уровня формирования экологического каркаса, что позволяет существенно расширить область их применения – от управленцев министерств до мастеров «в поле».

С экономической точки зрения для отдельно взятых предприятий использование автоматизированных информационных систем для управления технологическими процессами агропроизводства, в частности и инновационных разработок в области цифровизации предприятия, в целом позволяет менеджерам существенно повышать рентабельность и прибыльность производства [5].

Положительный результат достигается за счет следующих факторов:

- увеличение производительности. Автоматизированные информационные системы позволяют принимать грамотные управленческие решения в области организации производственных процессов при осуществлении мелиорации. Например, на основе оперативной информации о прошедших дождях на определенной площади хозяйства (актуально, когда осадки идут полосой на удаленной территории) снижается интенсивность полива расположенных там полей и концентрируются усилия на более засушливых участках;

- сокращение штата сотрудников, причем во многих подразделениях это становится возможным, начиная с административного корпуса (подразделения бухгалтерии, планово-экономические отделы, отделы реализации продукции и т. д.), заканчивая непосредственными исполнителями, опять же все за счет того же повышения производительности;

- снижение затрат на энергоносители (электричество, топливо для техники) при оптимизации производственных процессов. В современных реалиях затраты на энергоносители при реализации мелиоративных агротехнологий достаточно велики, они составляют серьезную долю себестоимости продукции. Их сокращение в любом случае становится приоритетной задачей эффективного конкурентоспособного предприятия. В данном ракурсе автоматизированная информационная система – прекрасный вариант, который только за счет экономии топлива и электричества окупается в кратчайшие сроки.

Для повышения эффективности формирования и оценки эколого-экономических показателей мелиорации автоматизированные системы управления должны обеспечивать ряд функциональных возможностей. В первую очередь автоматизированные информационные системы переводятся с использования локальных баз данных, которые располагаются на физическом носителе сервера, в облачный формат с регламентированным (логин, пароль и ограничение по правам пользователей) общим доступом с любого устройства через сеть Интернет. Такой подход позволяет исполнителям, обеспечивающим эксплуатацию оборудования и техники гидромелиоративных систем, непосредственно на поле (участке) или на внешних по отношению к мелиорируемой территории модулях (водозабор, система водоподачи, водораспределения) получать оперативную информацию в удаленном режиме.

Также в современные автоматизированные информационные системы интегрировано программное обеспечение, позволяющее использовать шаблонные форматы представления и передачи данных. Это позволяет расширять круг автоматизированных систем управления (АСУ), которые подключаются к общему комплексу.

Выводы. Автоматизированные информационные системы, безусловно, важный и весьма перспективный инструмент, позволяющий существенно повысить эффективность эколого-экономических показателей при проведении мелиоративных мероприятий.

Исторически так сложилось, что мелиорация, к сожалению, не всегда благоприятно или, как минимум, нейтрально влияла на экологическую ситуацию в регионе. Недостаточно обоснованные действия человека в погоне за прибылью способствовали серьезному изменению биологического разнообразия местной флоры и фауны, причем в сторону сокращения. Для исключения негативных последствий в будущем управленческие решения в области мелиорации должны быть взвешенными и адекватными.

В этом отношении оптимальным решением будет использование современных автоматизированных информационных систем. С их помощью можно получать большие объемы данных, обрабатывать их и предоставлять для дальнейшего использования в удобном формате.

Выбор конкретной автоматизированной информационной системы, в т. ч. актуального функционала, зависит от конкретных условий эксплуатации. Как следствие, проектирование, реализацию, последующее внедрение, наладку автоматизированной информационной системы следует доверять хорошо зарекомендовавшим себя профильным разработчикам.

Список источников

1. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / под ред. Л. В. Кирейчевой. М.: ВНИИ агрохимии, 2017. 296 с.
2. Юрченко И. Ф. Инновационное развитие мелиорации земель на основе цифровизации и создания технологических платформ // Московский экономический журнал. 2021. № 6. С. 36–52. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10333.
3. Ниточкин М. Цифровизация АПК. Модный «хайп» или реальный бизнес-инструмент для отрасли // Агроинвестор. 2020. № 5. С. 19–23.
4. Цифровизация управления агротехнологиями / Н. В. Степных [и др.]. Куртамыш, 2018. 43 с.
5. Yusupbekov N., Adilov F., Ergashev F. Development and improvement of systems of automation and management of technological processes and manufactures // Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. 2017. Vol. 11, № 3. P. 53–57. DOI: 10.14313/JAMRIS_3-2017/28.

References

1. Kireychева L.V., 2017. *Nauchnye osnovy sozdaniya i upravleniya meliorativnymi sistemami v Rossii* [Scientific Principles of Creation and Management of Reclamation Systems in Russia]. Moscow, VNII Agrochemistry, 296 p. (In Russian).
 2. Yurchenko I.F., 2021. *Innovatsionnoe razvitie melioratsii zemel' na osnove tsifrovizatsii i sozdaniya tekhnologicheskikh platform* [Innovative development of land reclamation based on digitalization and creation of technological platforms]. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 6, pp. 36-52, DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10333. (In Russian).
 3. Nitochkin M., 2020. *Tsifrovizatsiya APK. Modnyy "khayp" ili real'nyy biznes-instrument dlya otrasli* [Digitalization of the agro-industrial complex. Fashionable "hype" or a real business tool for the industry]. *Agroinvestor* [Agroinvestor], no. 5, pp. 19-23. (In Russian).
 4. Stepanykh N.V. [et al.], 2018. *Tsifrovizatsiya upravleniya agrotekhnologiyami* [Digitalization of Management of Agricultural Technologies]. Kurtamysh, 43 p. (In Russian).
 5. Yusupbekov N., Adilov F., Ergashev F., 2017. Development and improvement of systems of automation and management of technological processes and manufactures. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 53-57, DOI: 10.14313/JAMRIS_3-2017/28.
-

Информация об авторе

Г. Х. Ялалова – заведующая лабораторией.

Information about the author

G. Kh. Yalalova – Head of the Laboratory.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.02.2022; одобрена после рецензирования 16.02.2022; принята к публикации 03.03.2022.

The article was submitted 02.02.2022; approved after reviewing 16.02.2022; accepted for publication 03.03.2022.

Научная статья

УДК 631.452

**К вопросу управления почвенным плодородием земель
сельскохозяйственного назначения в Краснодарском крае**

**Надежда Николаевна Малышева¹, Артем Александрович Баранов²,
Олег Николаевич Каданцев², Анна Евгеньевна Кочнева²**

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, 89284200126@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1297-8236>

²Управление «Кубаньмелиоводхоз», Краснодар, Российская Федерация, ovp@kmvh.ru

Аннотация. Цель: анализ баланса питательных веществ в земледелии Краснодарского края для управления почвенным плодородием. **Материалы и методы.** В работе проведен анализ нормативно-правовой документации Краснодарского края в части, касающейся плодородия земель сельскохозяйственного назначения, статистической отчетности Управления Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея; использованы официальные данные Министерства сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, центра агрохимической службы «Краснодарский». **Результаты.** Показано, что земельный фонд Краснодарского края представлен 120 видами почв, из которых черноземы обыкновенные, выщелоченные и типичные составляют более 3,0 млн га и характеризуются содержанием гумуса в пахотном слое от 3,2 до 5,9 %. Выявлено снижение внесения органических удобрений в регионе под посев сельскохозяйственных культур на 758 тыс. т с 2010 по 2020 г. на фоне увеличения внесения минеральных удобрений на 133 тыс. т за указанный период. Проведен анализ баланса питательных веществ в земледелии Краснодарского края. Показано, что вынос основных питательных веществ из почвы выше, чем объем, вносимый с удобрениями. Балансовый коэффициент (Бк) в целом по основным макроэлементам составляет 1,47 с максимальным значением по калию 1,94 и минимальным по азоту – 1,28, что указывает на отрицательный баланс элементов питания. **Выводы.** Приводится ряд изменений, внесенных в закон Краснодарского края № 725-КЗ от 07.06.2004 «Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Краснодарского края», реализация которых позволит повысить почвенное плодородие кубанских черноземов, обеспечить устойчивое производство сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: почва, земли сельскохозяйственного назначения, пашня, минеральное питание, органические удобрения, севооборот, плодородие, гумус, баланс питательных веществ

Original article

**On issue of soil fertility management
for agricultural purposes in Krasnodar Territory**

Nadezhda N. Malysheva¹, Artem A. Baranov², Oleg N. Kadantsev², Anna Ye. Kochneva²

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, 89284200126@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1297-8236>

²Department of Land Reclamation and Agricultural Water Supply for the Krasnodar Territory, Krasnodar, Russian Federation, ovp@kmvh.ru

Abstract. Purpose: analysis of nutrient balance in agriculture of Krasnodar Territory for soil fertility management. **Materials and methods.** The analysis of the legal documentation of Krasnodar Territory in terms of farmland fertility, statistical reporting of the Federal State Statistics Service Office for Krasnodar Territory and the Republic of Adygea is carried out; official data of the Ministry of Agriculture and Processing Industry of Krasnodar Territory, the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography, and the Krasnodarsky Agrochemical Service Center were used. **Results.** It is shown that the land fund of Krasnodar Territory is represented by 120 types of soils, of which ordinary, leached and ordinary chernozems account for more than 3.0 million hectares and are characterized by a humus content in the arable layer from 3.2 to 5.9 %. A decrease in organic fertilizers application for sowing crops in the region by 758 thousand tons from 2010 to 2020 against the background of an increase in the mineral fertilizer application by 133 thousand tons over the specified period was revealed. An analysis of nutrient balance in agriculture of Krasnodar Territory was carried out. It is shown that basic nutrient depletion from soil is higher than the amount applied with fertilizers. The balance sheet ratio (Bq) in general for the main macronutrients is 1.47 with a maximum value for potassium of 1.94 and a minimum for nitrogen of 1.28, which indicates a negative balance of nutrients. **Conclusions.** A number of changes made to the Law of Krasnodar Territory no. 725-KZ of 07.06.2004 “On ensuring the fertility of agricultural land in Krasnodar Territory”, the implementation of which will increase the soil fertility of Kuban chernozems and ensure sustainable agricultural production.

Keywords: soil, farmland, arable land, mineral nutrition, organic fertilizers, crop rotation, fertility, humus, nutrient balance

Введение. Краснодарский край располагает уникальными природно-климатическими условиями, что позволяет развивать аграрный бизнес и получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Земельный фонд региона составляет 7,5 млн га, из них 4,3 млн га занимают сельскохозяйственные угодья, в т. ч. пашня – 3,7 млн га [1].

В Краснодарском крае почвенные разности представлены 120 видами почв, из которых основными являются черноземы обыкновенные, выщелоченные и типичные, они занимают Предкубанскую равнину края (северная и центральная зоны) площадью 3105,1 тыс. га и используются в сельхозпроизводстве (таблица 1).

Таблица 1 – Площади основных типов почв Краснодарского края и их распределение по территории региона

Table 1 – Areas of basic soil types in Krasnodar Territory and their distribution over the territory of the region

Название почвы	Площадь сельхозугодий, тыс. га	География размещения почв
Черноземы обыкновенные малогумусные сверхмощные	2354,6	Предкубанская равнина
Черноземы типичные малогумусные сверхмощные	531,0	Предкубанская равнина
Черноземы выщелоченные малогумусные сверхмощные	219,5	Закубанская наклонная равнина
Дерново-карбонатные маломощные	44,2	Низкие и средневысотные горы
Луговато-черноземовидные	278,2	Дельта р. Кубани
Луговые, аллювиально-луговые	316,5	Долины рек и дельта р. Кубани
Серые лесные оподзоленные	91,2	Низкие горы, предгорье

Особенностью почв Краснодарского края является интенсивность почвенного профиля – большая мощность гумусовых горизонтов, которая достигает нередко 150–170 см. Содержание гумуса в пахотном слое среднее (3,5–5,0 %), его запасы исчисляются в полутораметровой толще до 670 т/га [2, 3].

Поэтому сохранение и повышение запасов гумуса в почвах региона является весьма актуальной задачей, решение которой предполагает многообразие технологических элементов в системе земледелия.

Поскольку структура посевных площадей в настоящее время определяется не директивной системой управления, а рынком, специализацией хозяйства, наличием и уровнем животноводства, экономической составляющей каждого конкретного хозяйствующего субъекта, подходы к управлению почвенным плодородием должны основываться на прочной законодательной базе.

В этой связи цель исследования – анализ баланса питательных веществ в земледелии Краснодарского края для управления почвенным плодородием. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен анализ объемов внесения минеральных и органических удобрений в Краснодарском крае; определены мероприятия, позволяющие предотвратить потери гумуса, проанализирован баланс питательных веществ в почвах региона; выявлены изменения в нормативно-правовой базе, направленные на сохранение и повышение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения.

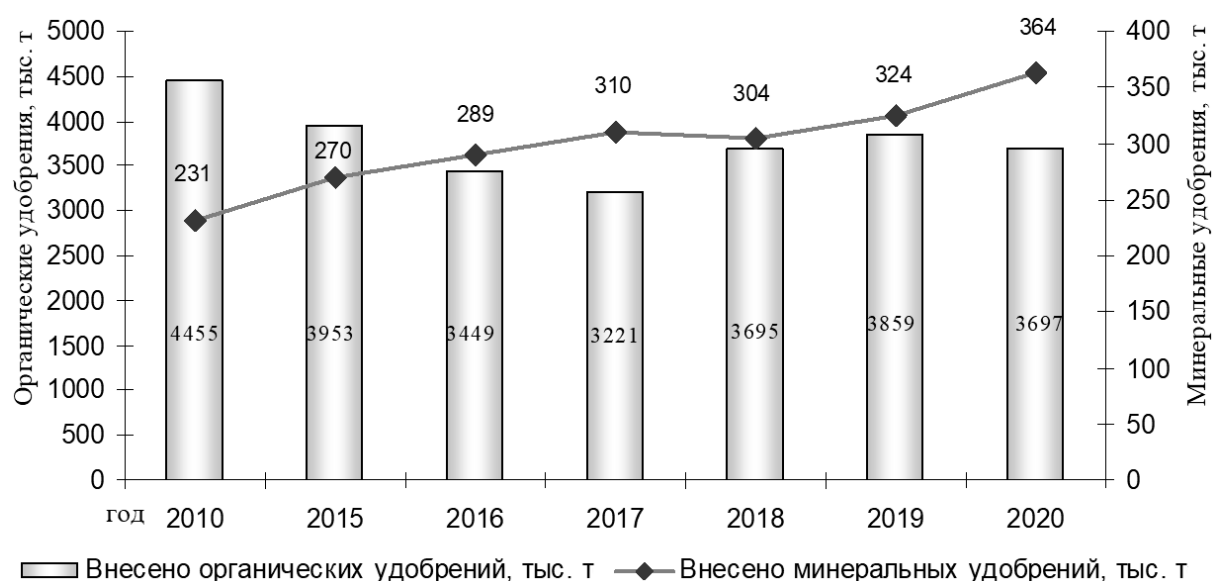
Материал и методы. В работе использованы и проанализированы следующие нормативно-правовые акты и документы: материалы государственной программы Краснодарского края «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сырья и продовольствия» (постановление главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 5 октября 2015 г. № 944); формы статистической отчетности Управления Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея; официальные данные Министерства сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, центра агрохимической службы «Краснодарский».

Результаты и обсуждение. Сохранение запасов органических и минеральных веществ в почве является актуальной и сложной задачей. Для предотвращения потерь гумуса в крае ежегодно сельхозпредприятиями региона вносится под посевы сельхозкультур порядка 4,0 млн т органических удобрений в виде навоза сельскохозяйственных, динамично увеличивается внесение минеральных удобрений [4] (рисунок 1).

Кроме того, заделываются в почву послеуборочные остатки в измельченном виде в объеме около 8,0 млн т на площади 1511,5 тыс. га, в т. ч. с аммиачной селитрой на площади 650,9 тыс. га, используются сидеральные культуры на площади около 12,0 тыс. га.

Тем не менее существующая в настоящее время в регионе структура посевных площадей обосновывается экономической целесообразностью и конъюнктурой рынка, что диктует необходимость сельскохозяйственному бизнесу извлекать максимальную выгоду с единицы площади пашни. В этой связи зачастую аграрии не соблюдают севооборот, исключают из него многолетние бобовые травы, выращивают в севообороте три-пять культур, а в некоторых случаях перешли к монокультуре, снизив до критических площади многолетних трав с 225,4 тыс. га (6,0 % от посевной площади) в 2015 г. до 166,3 тыс. га (4,4 % от посевной площади) в 2019 г. [5, 6].

Анализ баланса основных элементов питания, таких как азот, калий и фосфор, проведенный в 2020 г. центром агрохимической службы «Краснодарский», показывает, что в регионе вынос основных питательных веществ из почвы значительно выше, чем объем, вносимый с минеральными и органическими удобрениями (таблица 2).



■ Внесено органических удобрений, тыс. т — Внесено минеральных удобрений, тыс. т

Рисунок 1 – Объем внесения минеральных (в пересчете на 100 % питательных веществ) и органических удобрений в Краснодарском крае

Figure 1 – The volume of mineral (in terms of 100 % nutrients) and organic fertilizers application in Krasnodar Territory

Таблица 2 – Баланс и интенсивность баланса азота, фосфора и калия в земледелии Краснодарского края, 2020 г.

Table 2 – Balance and intensity of nitrogen, phosphorus and potassium balance in agriculture of Krasnodar Territory, 2020 year

Статья баланса	В кг д. в./га			
	N	P	K	Всего NPK
Приход				
Внесено в почву с минеральными удобрениями	72,2	36,6	11,2	120
Внесено в почву с органическими удобрениями	8,1	3,5	8,8	20,4
Внесено в почву с соломой	23,8	5,7	39,2	68,7
Поступление с семенами	3,5	1,0	0,6	5,1
Поступление с атмосферными осадками	2,0	–	2,0	4,0
Поступление симбиотического азота	1,2	–	–	1,2
Поступление несимбиотического азота	5,0	–	–	5,0
Всего	115,8	46,8	61,8	224,4
Расход				
Вынос урожаем	130,5	44,7	116,2	291,4
Вымывание из почвы	1,6	–	0,4	2,0
Потери за счет эрозии	4,0	1,5	3,0	8,5
Денитрификация из почвы	12,0	–	–	12,0
Закрепление фосфора в почве	–	16,0	–	16,0
Всего	148,1	62,2	119,6	329,9
Баланс, +/-	–32,3	–13,4	–57,8	–105,5
Балансовый коэффициент (Бк)	1,28	1,33	1,94	1,47
Интенсивность баланса, %	78,8	75,2	51,7	68,0

Приведенные в таблице 2 данные по структуре баланса, который складывается из приходных и расходных статей, показывают, что балансовый коэффициент (Бк) в целом по основным макроэлементам составляет 1,47 с максимальным значением по калию 1,94 и минимальным по азоту – 1,28, это указывает на отрицательный баланс элементов питания.

Интенсивность баланса в почвах региона составляет в целом по NPK 68 %, из них по азоту – 78,8 %, фосфору – 75,2 % и калию – 51,7 %. При этом необходимо отметить, что еще 35 лет назад в 1985 г. наблюдался благоприятный баланс NPK в почве, при котором отношение прихода элементов питания к их расходу составляло по азоту 90 %, фосфору – 101 % и калию – 69 % [7].

Учитывая отрицательный баланс элементов почвенного питания в настоящее время, рассмотренный в таблице 2, можно предположить, что дальнейший дисбаланс макроэлементов в почве приведет к снижению их продуктивности, в связи с чем уже на данном этапе земледелия в крае требуется надлежащее управление почвенными ресурсами, и в первую очередь на уровне государственной и региональной политики.

Основы правового регулирования охраны земель в Российской Федерации изложены в Земельном кодексе Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ, который регламентирует отношения по использованию и охране земель в Российской Федерации как основы жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории, а также в смежных законодательных актах, таких как Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», Федеральный закон от 19 июля 1997 г. № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами», Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» и др.

На Кубани мероприятия, направленные на создание комплексной системы защиты плодородия земель сельхозназначения, реализуются на основании положений закона Краснодарского края № 725-КЗ от 07.06.2004 «Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Краснодарского края» [6]. В последние годы в указанный закон внесены существенные поправки (законы Краснодарского края от 23.12.2020 № 4394-КЗ, от 22.07.2021 № 4519-КЗ), направленные на повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения при интенсификации производства.

Так, собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения в целях сохранения и воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения обязаны:

- осуществлять производство сельскохозяйственной продукции с рентабельностью не ниже среднекраевого уровня рентабельности по каждому виду продукции за предыдущий год способами, обеспечивающими сохранение и воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также исключаящими или ограничивающими неблагоприятное воздействие такой деятельности на окружающую среду;

- не допускать выжигания сухой травянистой растительности, стерни, пожнивных остатков (за исключением рисовой соломы) на землях сельскохозяйственного назначения;

- осуществлять агрохимическое и эколого-токсикологическое обследование почв земель сельскохозяйственного назначения не реже 1 раза в 5 лет на богаре и не реже 1 раза в 3 года на орошаемых участках;

- представлять в установленном порядке в соответствующие исполнительные органы государственной власти Краснодарского края сведения об использовании агро-

химикатов и пестицидов, а также вести паспорт агрохимического состояния полей и книгу истории полей севооборотов;

- соблюдать севооборот сельскохозяйственных культур с насыщением посевов риса не менее 57,0 % и не более 67,0 %, а также не допускать выращивания озимых культур по озимым культурам более 2 лет, сахарной свеклы по сахарной свекле – непрерывно в течение 2 лет подряд, а также выращивания подсолнечника на поле более 1 раза в 8 лет;

- обеспечить не менее 10 % посевов многолетних бобовых трав, бобовых культур, в т. ч. сои, от общей площади пашни. На земельных участках сельскохозяйственного назначения площадью до 100 га проводить указанные выше мероприятия либо ежегодно осуществлять измелчение и заделку в почву образующихся послеуборочных остатков сельскохозяйственных культур (за исключением необходимых для нужд животноводства) с добавлением 5 кг азота на 1 т послеуборочных остатков;

- обеспечить раз в 5 лет внесение органических удобрений (подстилочный навоз) не менее 9 т на 1 га на всей площади пашни либо осуществлять посев сельскохозяйственных культур, используемых в качестве сидератов, в т. ч. промежуточные сидеральные посевы, на площади не менее 20 % от всей площади пашни;

- разрабатывать и осуществлять мероприятия по воспроизводству плодородия земель сельскохозяйственного назначения в соответствии с проектом научно обоснованной адаптивно-ландшафтной региональной системы земледелия и охраны почв.

При этом законом о плодородии определено, что при разработке порядка предоставления мер государственной поддержки сельхозтоваропроизводителям за счет средств краевого бюджета уполномоченный орган устанавливает условие о внедрении инновационных научных технологий, обеспечивающих воспроизводство плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, в качестве одного из критериев, учитываемых при предоставлении субсидий на возмещение части затрат на производство продукции растениеводства.

Выполнение указанных в краевом законе мероприятий позволит поддерживать бездефицитный баланс гумуса в севооборотах, снизить потребность в минеральном азоте, повысить почвенное плодородие кубанских черноземов, регулировать отношения между сельхозтоваропроизводителями и исполнительной и законодательной властью в части, касающейся повышения культуры земледелия, обеспечивать устойчивое производство сельскохозяйственных культур.

Выводы. В результате проведенных исследований выявлено, что земельный фонд Краснодарского края представлен многообразием почв, основная часть которых приходится на черноземы обыкновенные, выщелоченные и типичные с большой мощностью гумусовых горизонтов, они эффективно используются в сельскохозяйственном производстве. Тем не менее в современных производственно-экономических условиях большое опасение вызывает снижение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, что подтверждается отрицательным балансом основных элементов минерального питания, несмотря на увеличение внесения минеральных удобрений в регионе на 133 тыс. т (в пересчете на 100 % питательных веществ) под сельхозкультуры за последнее десятилетие.

С целью координации мероприятий, направленных на управление почвенными ресурсами, и контроля выполнения их землепользователями в последние годы на Кубани на законодательном уровне проводится политика по совершенствованию нормативно-правовой базы, направленной на сохранение и повышение плодородия почв. Изменения, внесенные в закон Краснодарского края № 725-КЗ от 07.06.2004 «Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Краснодарского края»,

обязывают сельхозтоваропроизводителей в целях сохранения и воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения соблюдать научно обоснованный севооборот с насыщением посевов многолетними бобовыми травами и бобовыми культурами, обеспечивать внесение органических удобрений, внедрять адаптивно-ландшафтные системы земледелия и проводить другие мероприятия, направленные на воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Это позволит повысить почвенное плодородие кубанских черноземов, обеспечить устойчивое производство сельскохозяйственной продукции.

Список источников

1. Босалаева Е. В., Захарова Ж. Ю. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году. М., 2021. 197 с.
2. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / А. Н. Коробка [и др.]. Краснодар, 2015. 352 с.
3. Современное состояние и продуктивность чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А. Х. Шеуджен, О. А. Гуторова, Х. Д. Хурум, С. В. Есипенко, И. А. Лебедовский, В. П. Кащиц // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2019. № 153. С. 52–65. URL: <http://ej.kubagro.ru/2019/09/pdf/05.pdf> (дата обращения: 09.02.2022).
4. Краснодарский край в цифрах. 2019: стат. сб. / Краснодарстат. Краснодар, 2021. 274 с.
5. Об утверждении государственной программы Краснодарского края «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сырья и продовольствия» [Электронный ресурс]: постановление главы администрации (губернатора) Краснодар. края от 5 окт. 2015 г. № 944. URL: <http://docs.cntd.ru/document/430643160> (дата обращения: 12.01.2022).
6. Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Краснодарского края [Электронный ресурс]: закон Краснодар. края от 7 июня 2004 г. № 725-КЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/461607267> (дата обращения: 08.02.2022).
7. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, Г. П. Гамзиков, А. Х. Шеуджен, Е. В. Агафонов, Н. М. Белоус, В. С. Егоров, А. И. Подколзин, В. А. Романенко, С. П. Торшин, В. В. Лапа, А. Р. Цыганов, Т. Ф. Персикова, Р. Е. Елешев, А. С. Сапаров. М., 2017. 854 с.

References

1. Bosalaeva E.V., Zakharova Zh.Yu., 2021. *Gosudarstvennyy (natsional'nyy) doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu* [State (national) Report on Status and Use of Land in the Russian Federation in 2020]. Moscow, 197 p. (In Russian).
2. Korobka A.N. [et al.], 2015. *Sistema zemledeliya Krasnodarskogo kraya na agrolandshaftnoy osnove* [The System of Agriculture of Krasnodar Territory on an Agrolandscape Basis]. Krasnodar, 352 p. (In Russian).
3. Sheudzhen A.Kh., Gutorova O.A., Khurum Kh.D., Esipenko S.V., Lebedovsky I.A., Kashchits V.P., 2019. [Current state and efficiency of leached chernozem of Western Ciscaucasia]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 153, pp. 52-65, available: <http://ej.kubagro.ru/2019/09/pdf/05.pdf> [accessed 09.02.2022]. (In Russian).
4. *Krasnodarskiy kray v tsifrakh: 2019: stat. sb.* [Krasnodar Region in Numbers. 2019: statistical collection]. Krasnodarstat, Krasnodar, 2021, 274 p. (In Russian).
5. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Krasnodarskogo kraya "Razvitie sel'skogo khozyaystva i regulirovanie rynkov syr'ya i prodovol'stviya"* [On approval of state

program of Krasnodar Territory “Development of agriculture and regulation of raw materials and food markets”]. Resolution of the Head of the administration (governor) Krasnodar Territory of 5 Oct. 2015, no. 944, available: <http://docs.cntd.ru/document/430643160> [accessed 12.01.2022]. (In Russian).

6. *Ob obespechenii plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya na territorii Krasnodarskogo kraya* [On Ensuring the Fertility of Agricultural Land in the Territory of Krasnodar Territory]. Krasnodar Territory Law of June 7, 2004, no. 725-KZ, available: <https://docs.cntd.ru/document/461607267> [accessed 08.02.2022]. (In Russian).

7. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzikov G.P., Sheudzhen A.Kh., Agafonov E.V., Belous N.M., Egorov V.S., Podkolzin A.I., Romanenko V.A., Torshin S.P., Lapa V.V., Tsyganov A.R., Persikova T.F., Eleshev R.E., Saparov A.S., 2017. *Agrokimiya: uchebnik* [Agrochemistry: Textbook]. Moscow, 854 p. (In Russian).

Информация об авторах

Н. Н. Малышева – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук;

А. А. Баранов – начальник юридического отдела;

О. Н. Каданцев – директор Красноармейского филиала;

А. Е. Кочнева – ведущий инженер отдела водопользования.

Information about the authors

N. N. Malysheva – Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences;

A. A. Baranov – Head of the Legal Department;

O. N. Kadantsev – Director of the Krasnoarmeysk branch;

A. E. Kochneva – Leading Engineer of the Water Use Department.

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 15.02.2022; одобрена после рецензирования 24.02.2022; принята к публикации 09.03.2022.

The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 24.02.2022; accepted for publication 09.03.2022.

Научная статья

УДК 626.824

Алгоритм распределения водных ресурсов в водохозяйственном комплексе Донского магистрального канала

Вячеслав Дмитриевич Гостищев¹, Алексей Николаевич Рыжаков²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹rosniipmovpvapk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

²xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

Аннотация. Цель: разработка алгоритма распределения водных ресурсов сельскохозяйственным производителям во всех звеньях оросительной системы в соответствии с существующими лимитами подачи воды, согласно линейной схеме водохозяйственной системы Донского магистрального канала. **Материалы и методы.** Авторами были использованы доступные средства компьютерного моделирования сценариев водораспределения в программном обеспечении Microsoft Excel. Выбор данной программы в качестве основы базировался на открытости и доступности формата электронных таблиц в отличие от других, хоть и более продвинутых, программных комплексов. Исходной информацией для производства расчетов являлись подекадные календарные планы водоподдачи и использования оросительной воды по филиалам Ростовмелиоводхоза. **Результаты и обсуждения.** Представленный алгоритм осуществляет расчет по декадам. Помимо представленной визуализации линейной схемы Донского магистрального канала программа включает в себя два набора таблиц – предварительную потребность водопользователей, формируемую по декадным календарным планам водоподдачи, и показатели водоподдачи на оросительные системы после корректировки. **Выводы.** Данная программа может быть использована и при реализации корректировок оперативных планов водопользования в течение всего вегетационного периода. В эффективном использовании водных, технических, энергетических и трудовых ресурсов оперативное управление играет важную роль. Анализ информационно-аналитических материалов показывает, что непроизводительные потери на открытых оросительных системах порою достигают 50–60 % от величины забора воды из вод источника, из них технологические потери – 10–15 %.

Ключевые слова: плановое водопользование, баланс водораспределения, оросительная система, внутрихозяйственные и системные планы водопользования

Original article

Water resources distribution algorithm in water management complex of the Donskoy main canal

Vyacheslav D. Gostishchev¹, Aleksey N. Ryzhakov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹rosniipmovpvapk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

²xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

Abstract. Purpose: developing water resources distribution algorithm to agricultural producers in all parts of the irrigation system in accordance with the existing water supply limits, according to the linear scheme of water management system of the Donskoy main ca-

nal. **Materials and methods.** The available means of computer modeling of water distribution scenarios in the Microsoft Excel software were used. The choice of this program as a basis was based on the openness and accessibility of the spreadsheet format, unlike other, albeit more advanced software systems. Initial information for making calculations was ten-day schedules for water supply and use of irrigation water for branches of Rostovmeliiovodkhoz.

Results and discussions. The presented algorithm calculates by decades. In addition to the presented visualization of the linear scheme of the Donskoy main canal, the program includes two sets of tables – the preliminary demand of water users, formed according to ten-day schedules for water supply, and water supply indicators for irrigation systems after adjustment. **Conclusions.** This program can also be used in the implementation of adjustments to operational water use plans throughout the growing season. Operational management plays an important role in the efficient use of water, technical, energy and labor resources. An analysis of information and analytical materials shows that unproductive losses in open irrigation systems sometimes reach 50–60 % of the amount of water intake from a water source, of which technological losses are 10–15 %.

Keywords: planned water use, water distribution balance, irrigation system, on-farm and system water use plans

Введение. Основная площадь фактически политых земель в Ростовской области обслуживается оросительными системами (ОС), входящими в водохозяйственный комплекс Донского магистрального канала (ДМК). Общая проектная площадь рассматриваемых ОС составляет 448 тыс. га, или 75,8 % всех орошаемых площадей области [1]. ДМК в настоящее время подает воду на орошение сельскохозяйственных культур на площади 163,10 тыс. га, в т. ч. 32,76 тыс. га рисовых севооборотов. Также вода поступает для хозяйственно-питьевого водоснабжения более 200 тыс. человек и используется в целях рассоления Манычских водохранилищ, которые имеют большое рыбохозяйственное значение. Линейная схема водохозяйственного комплекса ДМК представлена на рисунке 1.

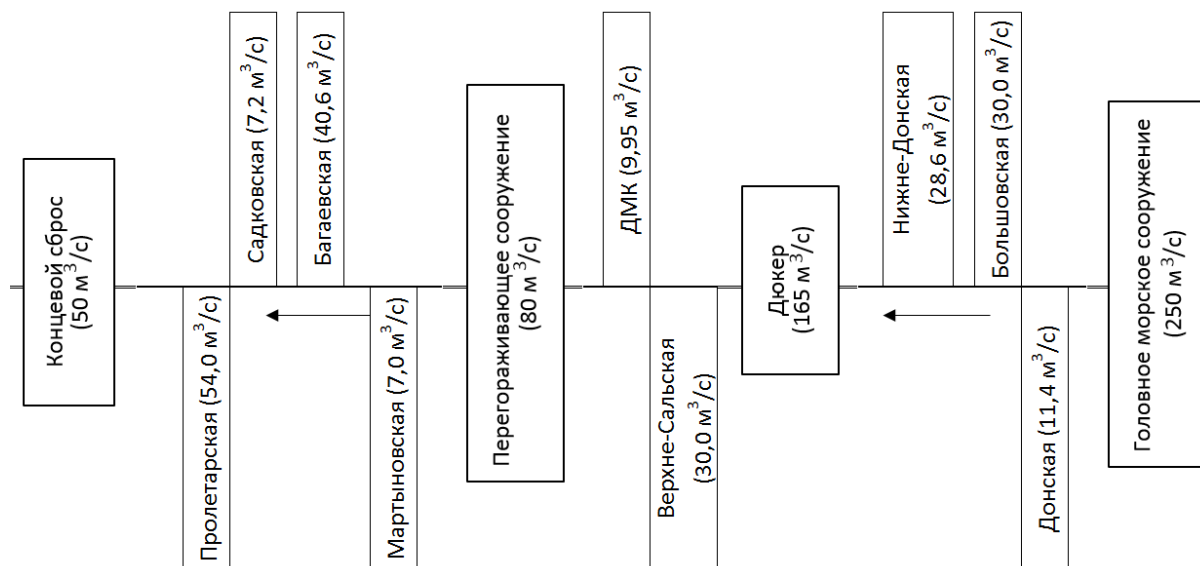


Рисунок 1 – Линейная схема водохозяйственного комплекса Донского магистрального канала (с указанием максимальной пропускной способности)

Figure 1 – Linear diagram of water management complex of the Donskoy main canal (indicating the maximum discharge capacity)

По данным Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области, маловодье в бассейне р. Дон с 2007 г. привело к сокращению орошаемых сельскохозяйственных площадей региона почти в 2 раза – на конец 2021 г. площадь орошаемых территорий составляет 231 тыс. га при используемых ранее 420 тыс. га [2].

Планирование и реализация водораспределения на ОС в настоящее время обусловлены в основном значительным недостатком доступных водных ресурсов. Исходя из этого создание комплексных программ управления водораспределением на базе компьютерных информационно-советующих систем является основополагающим направлением оптимизации [3].

Плановым водопользованием называется управляемый технологический процесс, включающий комплекс организационных, технических и технологических мероприятий на водохозяйственном объекте (ОС или отдельные ее звенья, различные водопользователи, фермерские хозяйства) по оптимальному управлению водным режимом возделываемых культур и обеспечению надежной работы всех конструктивных элементов ОС и поливных участков [4].

Как известно, использование воды на орошение осуществляется на основании внутрихозяйственного и системного планов водопользования [5], регламентирующих в соответствии с определенными условиями забор воды из источника орошения и транспортировку ее по каналам межхозяйственной оросительной сети до потребителей, распределение воды между хозяйствами и внутри них. Внутрихозяйственный план водопользования представляет собой подекадную потребность в водных ресурсах отдельного водопользователя на предстоящий год в соответствии с предложенными системой лимитами. Системный план водопользования, в свою очередь, устанавливает объемы, порядок и сроки подачи воды всем водопользователям данной ОС.

Реализация данного способа управления водопользованием заключается в распределении водных ресурсов сельхозтоваропроизводителям во всех звеньях ОС в соответствии с согласованными и утвержденными годовыми внутрихозяйственными и системными планами водопользования.

При составлении системного плана водопользования на ОС и расчете баланса водораспределения специалисты учреждений по мелиорации зачастую сталкиваются с необходимостью уменьшения лимитов подачи воды водопользователям таким образом, чтобы экономический ущерб от потери урожайности орошаемых сельскохозяйственных культур в результате недополива был минимальным.

Сложность управления водопользованием на крупных ОС состоит в том, что они обслуживают значительные площади, рассредоточенные в плане и значительно удаленные от источника орошения. По мере удаления от головного водозаборного сооружения в работу включается все большее число каналов и трубопроводов, а соответственно, увеличивается количество операций по вододелению, что неизбежно влечет за собой усложнение процесса управления водой. Еще больше усложняет управление то, что контроль распределения воды осуществляется ручным управлением затворами [6].

В результате на практике в сложившейся ситуации специалисты учреждений по мелиорации зачастую корректируют планы водопользования приближенно, полагаясь в основном на собственный опыт.

Решение задачи планирования водопользования усложняется тем обстоятельством, что хозяйства, непосредственно использующие воду для полива, административно не подчиняются службам эксплуатации ОС, а взаимодействуют с ними на уровне обмена информацией в виде внутрихозяйственных планов водопользования, оперативных заявок на воду и отчетов об использовании воды. Так как сельхозтоваропроизводители являются независимыми собственниками, то у руководства ОС нет возможностей

значительно влиять на решения, принимаемые руководителями в плане выбора и размещения культур.

Материал и методы. В ходе выполнения тематики НИР 2.1.2.2 «Провести анализ дефицита водных ресурсов европейской территории России и разработать сценарные модели развития орошаемого земледелия с учетом наличия свободных водных ресурсов (на примере Ростовской области)», используя доступные средства компьютерного моделирования сценариев водораспределения, в программном обеспечении (ПО) Microsoft Excel реализовали алгоритм распределения водных ресурсов сельхозтоваропроизводителям во всех звеньях ОС в соответствии с существующими лимитами подачи воды согласно линейной схеме ДМК.

Выбор данного ПО в качестве основы базировался на открытости и доступности формата электронных таблиц в отличие от других, хоть и более продвинутых, программных комплексов [7, 8].

Исходной информацией для производства расчетов являлись подекадные календарные планы водоподачи и использования оросительной воды по филиалам Ростовмелиоводхоза, занимающимся эксплуатацией ОС ДМК, отображающие предварительную потребность по следующим статьям (в млн м³):

- подача воды на орошение;
- обводнение и хозяйственные нужды;
- рыборазведение;
- водоснабжение населенных пунктов;
- подпитка рек и водохранилищ;
- опробование НС и поддержание горизонта;
- замочка и затопление каналов;
- потери на испарение и фильтрацию;
- передача в другие системы.

Из данных таблиц извлекаются данные по выбранной для расчета декаде. В результате формируется таблица с совокупными показателями по каждой ОС, по которой и производится корректировка распределения водных ресурсов.

Результаты и рассуждения. Внешний вид расчетной программы моделирования сценариев водораспределения представлен на рисунке 2. Расчет, производимый для примера, осуществлялся для первой декады августа.

Темными узловыми точками отражено местоположение водопропускных порно-регулирующих ГТС и их лимиты максимально возможных расходов. Также лимиты по расходу заложены и в водовыделы. В случае если тот или иной расход превышает максимально возможную пропускную способность водопропускного сооружения, указанную на рисунке 1, производится индикация заданной ячейки (она подсвечивается красным) и осуществляется перерасчет.

Помимо представленной визуализации линейной схемы ДМК программа включает в себя два набора таблиц – предварительную потребность водопользователей, формируемую по декадным календарным планам водоподачи, и показатели водоподачи на ОС после корректировки.

Заложенный в программу алгоритм начинает расчет с концевой части ДМК получившегося суммарного расхода на узлом ГТС № 1 (головное сооружение Пролетарской ОС) по предварительным заявкам водопользователей, который сразу сравнивается с пропускной возможностью ГТС. В случае превышения возможных пропускных характеристик ГТС программа производит перерасчет объемов воды по системам по принципу пропорциональности начальным запросам на воду. И так далее производится перерасчет по узловым точкам в сторону головного водозаборного сооружения на Цимлянском водохранилище.

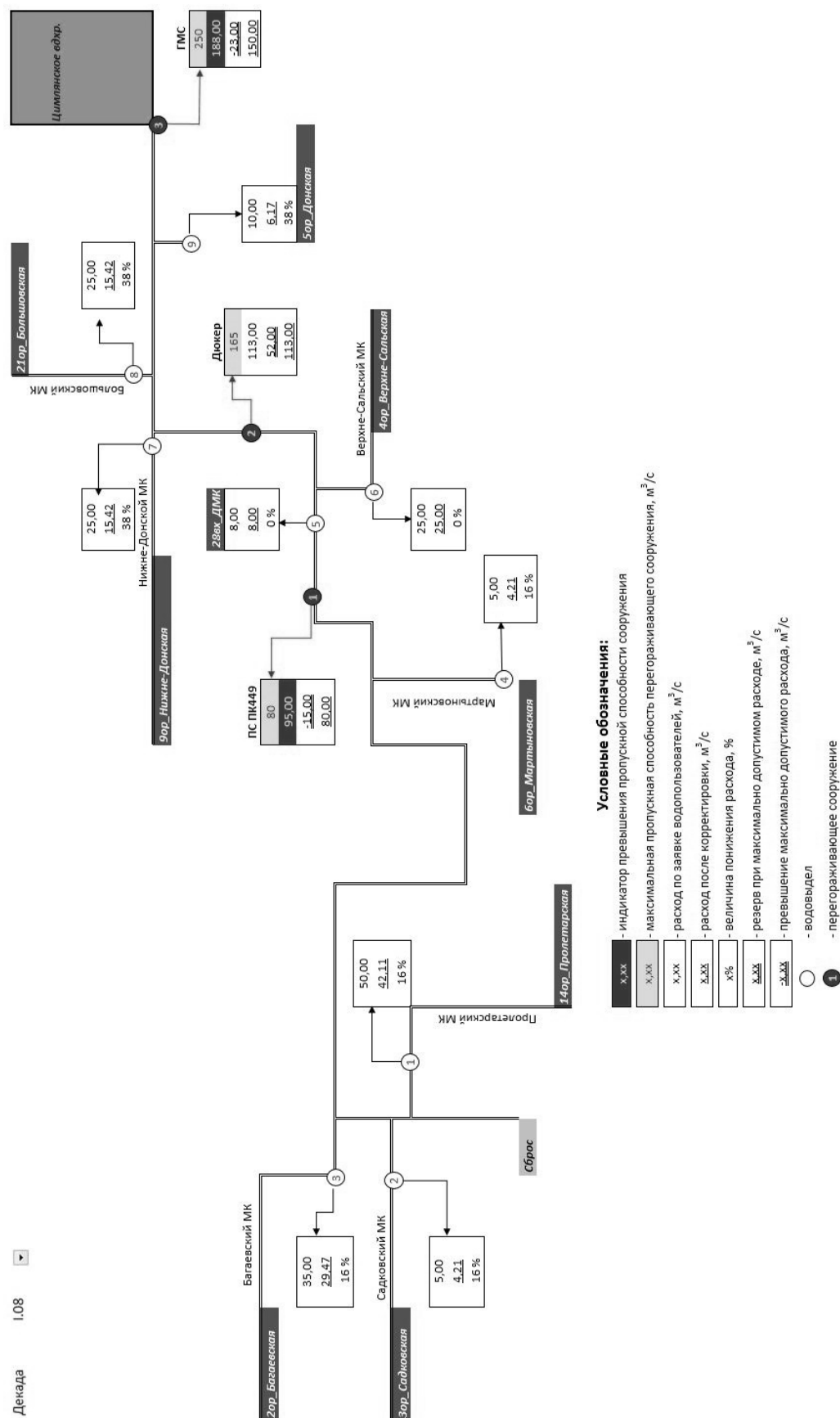


Рисунок 2 – Внешний вид расчетной программы моделирования сценариев водораспределения
Figure 2 – Layout of the calculation program for water distribution scenarios modeling

В представленном примере расчета основные лимитирующие условия – дефицитный объем водозабора в головном морском сооружении (150 млн м³, тогда как по заявкам требуется 188 млн м³) и приоритет подачи воды на рисоводство на Пролетарскую ОС. Также при лимитировании заявок на воду возможен принцип приоритетности сельскохозяйственной культуры как по ее энергетической ценности, так и с учетом рыночной стоимости. Возможен вариант лимитирования в подаче воды, учитывающий коэффициент потерь транспортирующих в системы и хозяйства каналов. Кстати, такой подход в конечном счете может стимулировать водопользователей вкладываться в реконструкцию водопроводящей внутрихозяйственной сети.

В связи с тем, что совокупный расход на ряд ОС ниже перегораживающего сооружения на ПК 449 (Мартыновская, Багаевская, Садковская и Пролетарская) превышает его пропускную способность, в результате расчета по заданному алгоритму объемы водоподачи по заявкам были снижены на 16 %. Следующие по приоритетности две ОС (Верхне-Сальская и ДМК) получили заявленную воду в полном объеме. Таким образом, для указанных ОС совокупный расход составил 113 м³/с из возможных 150 м³/с, тогда как на расположенные выше системы по заявкам требуется еще 60 м³/с. В результате программа вновь производит перерасчет, и, так как эти три ОС (Донская, Большовская и Нижне-Донская) имеют равный приоритет, объемы водоподачи на них были снижены на равные 38 %. Итоговые показатели водоподачи на ОС после корректировки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели водоподачи на оросительные системы после корректировки

Table 1 – Indicators of water supply to irrigation systems after adjustment

Наименование ОС	Объем водоподачи, млн м ³	Расход, м ³ /с	Величина понижения расхода, %
14ор Пролетарская	36,38	42,11	16
3ор Садковская	3,64	4,21	16
2ор Багаевская	24,47	29,47	16
6ор Мартыновская	3,64	4,21	16
28вх ДМК	6,90	8,00	0
4ор Верхне-Сальская	21,60	25,00	0
9ор Нижне-Донская	13,32	15,42	38
21ор Большовская	13,32	15,42	38
5ор Донская	5,32	6,17	38

Выводы. Данная программа может быть использована при реализации корректировок оперативных планов водопользования в течение всего вегетационного периода. Также в алгоритмах возможно учесть скоростные параметры добега и перерегулировок командных горизонтов воды и масштабировать их на сооружения более низкого порядка внутри ОС. Особенностью примененного для рассмотренного алгоритма ПО является в первую очередь возможность быстрого и простого редактирования параметров расчета, который может быть понятен широкому кругу пользователей.

В эффективном использовании водных, технических, энергетических и трудовых ресурсов оперативное управление играет важную роль. Анализ информационно-аналитических материалов показывает, что непроизводительные потери на открытых ОС порою достигают 50–60 % от величины забора воды из водоисточника, из них технологические потери – 10–15 %.

Зная структуру посевных площадей на территории ОС Ростовской области, можно ориентировочно подсчитать экономический эффект от внедрения в производ-

ственную практику описанного выше ПО. Внедрение автоматизации в процессы как расчетов, так и управления водораспределением будет способствовать уменьшению потерь и более эффективному использованию водных ресурсов.

Список источников

1. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. 283 с.
2. На Дону из-за маловодья вдвое сократились площади орошаемых полей [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobook.ru/news/75669/na-donu-iz-za-malovodya-vdvoe-sokratilis-ploshchadi-oroshaemyh-poley> (дата обращения: 16.02.2022).
3. Программный комплекс планирования водопользования для оросительных систем на основе информационных технологий / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. А. Назаренко // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 5. С. 39–43.
4. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: учеб. для вузов / В. И. Ольгаренко [и др.]; под ред. В. И. Ольгаренко. Коломна, 2006. 391 с.
5. Методические указания по планированию водопользования на оросительных системах на основании данных ретроспективного анализа и сценарных расчетов в зависимости от лет различной влагообеспеченности / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, С. Л. Жук. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 61 с.
6. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> (дата обращения: 16.02.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23.
7. Пономаренко Т. С. Разработка одномерной гидродинамической модели участка Донского магистрального канала в среде MIKE // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. Вып. 56, ч. 1. С. 69–89.
8. Пономаренко Т. С. Процесс создания двумерной модели участка Донского магистрального канала в среде MIKE // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 3(63). С. 70–75.

References

1. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya* [Irrigation Systems of Russia: From Generation to Generation: monograph]. In 2 parts, pt. 1, Novocherkassk, RosNIIPM, 283 p. (In Russian).
2. *Na Donu iz-za malovod'ya vdvoe sokratilis' ploshchadi oroshaemykh poley* [The area of irrigated fields has halved in the Don due to low water], available: <https://agrobook.ru/news/75669/na-donu-iz-za-malovodya-vdvoe-sokratilis-ploshchadi-oroshaemyh-poley> [accessed 16.02.2022]. (In Russian).
3. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Olgarenko I.V., Nazarenko V.A., 2017. *Programmnyy kompleks planirovaniya vodopol'zovaniya dlya orositel'nykh sistem na osnove informatsionnykh tekhnologiy* [Software package of water use planning for irrigation systems using information technologies]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 39-43. (In Russian).
4. Olgarenko V.I. [et al.], 2006. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh sistem: ucheb. dlya vuzov* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems: textbook]. Kolomna, 391 p. (In Russian).

5. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Voevodin O.V., Kozhanov A.L., Zhuk S.L., 2015. *Metodicheskie ukazaniya po planirovaniyu vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh na osnovanii dannykh retrospektivnogo analiza i stsenarnykh raschetov v zavisimosti ot let razlichnoy vlogoobespechennosti* [Guidelines for Planning Water Use in Irrigation Systems Based on Retrospective Analysis Data and Scenario Calculations Depending on Years of Different Moisture Availability]. Novocherkassk, RosNIIPM, 61 p. (In Russian).

6. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. [Urgent problems of water distribution management in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 1-23, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> [accessed 16.02.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. (In Russian).

7. Ponomarenko T.S., 2014. *Razrabotka odnomernoy gidrodinamicheskoy modeli uchastka Donskogo magistral'nogo kanala v srede MIKE* [Development of a one-dimensional hydrodynamic model of the Donskoy main canal section in the MIKE environment]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. nauch. tr.* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, RosNIIPM, iss. 56, pt. 1, pp. 69-89. (In Russian).

8. Ponomarenko T.S., 2016. *Protsess sozdaniya dvumernoy modeli uchastka Donskogo magistral'nogo kanala v srede MIKE* [The process of creating a two-dimensional model of the Donskoy main canal section in the MIKE environment]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(63), pp. 70-75. (In Russian).

Информация об авторах

В. Д. Гостищев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент;

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник.

Information about the authors

V. D. Gostishchev – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

A. N. Ryzhakov – Researcher.

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 interest.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 24.02.2022; принята к публикации 03.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 24.02.2022; accepted for publication 03.03.2022.

Научная статья

УДК 631.674:631.8:633.491

**Водопотребление картофеля весенней посадки в зависимости
от режима орошения и технологии внесения удобрений**

Александр Николаевич Бабичев¹, Дмитрий Петрович Сидаренко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

Аннотация. Цель: оценка эффективности прецизионной технологии орошения и внесения удобрений на мелиорируемых землях юга России в условиях дефицита доступных водных ресурсов, направленных на ресурсосбережение и сохранение плодородия почв аридной зоны юга России. **Материалы и методы.** В ходе исследований был использован ряд методик: теоретические, экспериментальные, полевые. Во время проведения полевых опытов, при обработке и анализе результатов экспериментальных исследований были использованы следующие методы: водного баланса, теории вероятностей и математической статистики, физического и математического моделирования. **Результаты.** Анализ полученных результатов выявил, что урожайность картофеля весеннего срока посадки за период 2019–2021 гг. изменялась от 12,1 до 45,3 т/га. Наибольшая урожайность была получена в варианте опыта с прецизионным орошением и прецизионным внесением минеральных удобрений. **Выводы.** Результаты исследований при их реализации позволят обеспечить управление формированием и продуктивностью орошаемых агробиоценозов, ресурсосбережение, увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, сохранение и повышение плодородия орошаемых земель вместе с обеспечением продовольственной безопасности страны.

Ключевые слова: водопотребление, урожайность, режим, оросительная норма, технология орошения, картофель

Original article

**Water consumption of spring planted potatoes depending
on the irrigation regime and fertilizer application technology**

Alexander N. Babichev¹, Dmitry P. Sidarenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

Abstract. Purpose: to evaluate the effectiveness of precision irrigation and fertilizer application technology on reclaimed lands in southern Russia under the conditions of available water resources shortage aimed at resource conservation and preservation of soil fertility in the arid zone of southern Russia. **Materials and methods.** During the research, a number of techniques were used: theoretical, experimental, field. During the field experiments, the following methods were used in processing and analyzing the results of experimental studies: water balance, probability theory and mathematical statistics, physical and mathematical modeling. **Results.** An analysis of the results obtained revealed that the spring planted potato yield for the period 2019–2021 changed from 12.1 to 45.3 t/ha. The highest yield was obtained in the variant of the experiment with precision irrigation and precision application of

mineral fertilizers. **Conclusions.** The results of the research, when implemented, will ensure the management of formation and productivity of irrigated agrobiocenoses, resource conservation, an increase in the productivity of agricultural crops, the preservation and increase in the fertility of irrigated lands, along with ensuring the country's food security.

Keywords: water consumption, crop yield, regime, irrigation rate, irrigation technology, potatoes

Введение. Площадь возделывания картофеля в Ростовской области в 2021 г. составила 16,5 тыс. га, при этом 10,5 тыс. га возделываются хозяйствами населения, остальные 6 тыс. га возделываются сельскохозяйственными организациями и крестьянско-фермерскими хозяйствами. Площадь возделывания картофеля в Российской Федерации в 2021 г. составила 1188 тыс. га [1, 2].

Такая незначительная площадь возделывания в условиях Ростовской области связана с повышенными температурами воздуха в весенне-летний период и низкой влагообеспеченностью, неблагоприятной для развития картофеля. В районах с суммой активных температур 3200 °C и выше велика вероятность вырождения картофеля, вследствие чего выращивание его в таких условиях мало целесообразно. В остальных же районах экономический эффект от возделывания картофеля возможен лишь при использовании орошения.

В условиях недостаточного увлажнения в Ростовской области орошаемые земли являются важным резервом повышения урожайности, валового производства сельскохозяйственной продукции и обеспечения устойчивого развития агропромышленного комплекса [3–8].

Наряду с этим в сложных экономических условиях применение традиционных технологий орошения и внесения доз минеральных удобрений требует корректировки в направлении ресурсосбережения на фоне получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур.

Цель проведения наших исследований состояла в оценке эффективности прецизионной технологии орошения и внесения удобрений на мелиорируемых землях юга России в условиях дефицита доступных водных ресурсов, направленных на ресурсосбережение и сохранение плодородия почв аридной зоны юга России. В рамках данных исследований было изучено влияние прецизионного орошения при различной обеспеченности минеральными удобрениями на продуктивность картофеля весеннего срока посадки. По результатам исследований установлены зависимости продуктивности картофеля весеннего срока посадки от влагообеспеченности и минерального питания растений.

Материалы и методы. В ходе проводимых исследований был использован ряд методик: теоретические, экспериментальные, полевые. Во время проведения полевых опытов, при обработке и анализе результатов экспериментальных исследований были использованы следующие методы: водного баланса, теории вероятностей и математической статистики, физического и математического моделирования. Почвенно-климатические характеристики и схема опытного участка приводились нами ранее [8].

Результаты. Погодные условия по годам проведения исследований (2019–2021 гг.) представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что по средней температуре период апрель – июль практически не отличается. Самая низкая температура воздуха была отмечена в 2020 г. (18,2 °C), а максимальная 19,7 °C в 2019 г. Практически не отличалась сумма осадков и средняя влажность за этот период в 2019 и 2020 гг. Существенно отличался по количеству осадков 2021 г., сумма осадков за вышеуказанный период в этом году превосходила данный показатель двух других лет в 1,7 раза. Незначительно на 11 % в этом году была выше относительная влажность в сравнении с двумя другими годами.

Таблица 1 – Метеоданные за апрель – июль 2019–2021 гг.**Table 1 – Meteorological data for april – july 2019–2021 years**

Месяц	2019 г.			2020 г.			2021 г.		
	<i>T</i> , °C	<i>RRR</i> , мм	<i>U</i> , %	<i>T</i> , °C	<i>RRR</i> , мм	<i>U</i> , %	<i>T</i> , °C	<i>RRR</i> , мм	<i>U</i> , %
Апрель	11,6	33	60	9,3	16	47	10,1	68	70
Май	19,2	60	63	15,3	73	68	18,1	88	62
Июнь	25,2	29	43	23,2	22	55	21,9	86	67
Июль	22,6	63	62	25,1	69	47	26,5	76	51
Среднее за апрель – май	19,7	–	57	18,2	–	54	19	–	63
Сумма за апрель – май	–	185	–	–	180	–	–	318	–

Примечание – Метеоданные взяты с сайта <https://rp5.ru> по метеостанции № 34636 г. Семикаракорск Ростовской области; *T* – температура воздуха, °C; *RRR* – количество выпавших осадков, мм; *U* – относительная влажность, %.

Высокие средние суточные температуры воздуха (выше 23 °C) оказывают неблагоприятное действие на картофель в период роста и развития ботвы, они вызывают удлинение этого периода, а следовательно, сокращение периода клубнеобразования, что влечет за собой уменьшение урожая. В период клубнеобразования температуры выше 23 °C вызывают замедление роста клубней, при повышении температуры до 25–27 °C отмечается уменьшение роста клубней, а увеличение температуры выше 29 °C оказывает крайне негативное влияние на рост клубней, он практически прекращается.

Поэтому показателю наиболее неблагоприятные условия для клубнеобразования сложились в 2019 г., так, среднемесячная температура воздуха в июне составила 25,2 °C, а малое количество осадков, выпавших в этом месяце, и, как следствие этого, низкая относительная влажность воздуха 43 % оказали негативное влияние на продуктивность картофеля и на величину его коэффициента водопотребления.

Существенно по погодным условиям в июне отличался 2021 г. Так, среднемесячная температура воздуха в июне этого года составила 21,9 °C, выпало 86 мм осадков, а относительная влажность составила 67 %. Такие погодные условия нашли отражение в величине коэффициента водопотребления. В таблице 2 представлены показатели водопотребления, урожайности картофеля по годам исследования в зависимости от технологии орошения и внесения минеральных удобрений.

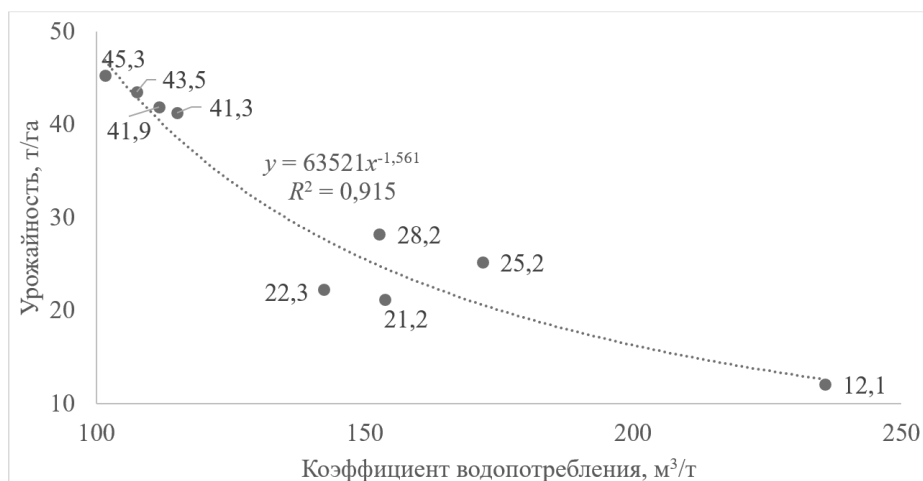
Анализ данных таблицы 2 показывает, что величина урожайности картофеля в значительной степени зависит от орошения. Без применения орошения значения коэффициента водопотребления картофеля весенней посадки составляют от 142,7 до 153,7 м³/т. При дополнении данных вариантов опыта технологией орошения с оросительной нормой 2100 м³/га значения коэффициента водопотребления сокращаются до 107,5–115 м³/т, а применение прецизионного орошения с оросительной нормой 2012 м³/га обеспечивает снижение параметра до 101,6–111,6 т/га.

Значительное влияние на величину коэффициента водопотребления оказывают минеральные удобрения. Чем оптимальнее сбалансирована технология внесения минеральных удобрений в зависимости от потребностей культуры, тем ниже коэффициент водопотребления.

Между коэффициентом водопотребления и величиной урожайности картофеля имеется тесная связь (рисунок 1).

Таблица 2 – Водопотребление картофеля весенней посадки в зависимости от режима орошения и доз удобрений (2019–2021 гг.)**Table 2 – Water consumption of spring planted potatoes depending on the irrigation regime and fertilizer doses (2019–2021 years)**

Вариант опыта	Суммарное водопотребление, мм	В т. ч. оросительная норма, м ³ /га	Коэффициент дефицита водного баланса, м ³ /т	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Урожайность, т/га
Без орошения					
Без удобрений	284,6	–	–	235,7	12,1
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная зональными системами земледелия (ЗСЗ))	325,1	–	–	153,7	21,2
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	316,5	–	–	142,3	22,3
80 % наименьшей влагоемкости в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)					
Без удобрений	432,3	2100	84,1	171,9	25,2
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ) (контроль)	474,2	2100	49,3	115,0	41,3
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	467,3	2100	46,5	107,5	43,5
Прецизионное орошение					
Без удобрений	429,9	2012	72,3	152,7	28,2
N ₁₆₀ P ₁₈₀ K ₁₆₀ (рекомендованная ЗСЗ)	467,5	2012	48,6	111,6	41,9
N ₁₆₀ P ₁₇₅ K ₁₅₀ (прецизионное внесение)	459,8	2012	43,6	101,6	45,3

**Рисунок 1 – Связь урожайности картофеля весенней посадки и коэффициента водопотребления****Figure 1 – Relationship between spring planted potato yield and water consumption ratio**

Величина урожайности картофеля в вариантах без орошения и внесения минеральных удобрений снижается до 12,1 т/га. Орошение в сочетании с применением раз-

личных технологий внесения минеральных удобрений способствует увеличению урожайности до 41,3–45,3 т/га. При этом применение прецизионных технологий орошения и внесения минеральных удобрений обеспечивает получение наибольшего урожая.

Выводы. Проведенные исследования выявили преимущества прецизионных технологий при возделывании картофеля весенней посадки в условиях аридной зоны юга России. Результаты исследований при их реализации позволят обеспечить управление формированием и продуктивностью орошаемых агробиоценозов, ресурсосбережение, увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, сохранение и повышение плодородия орошаемых земель вместе с обеспечением продовольственной безопасности страны.

Список источников

1. Индексы производства по видам экономической деятельности (в процентах к предыдущему году) [Электронный ресурс]. URL: <https://rostov.gks.ru/storage/mediabank/> (дата обращения: 31.01.2022).

2. Сельское хозяйство в России. 2021: стат. сб. / Росстат. М., 2021. 100 с.

3. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 1–11. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> (дата обращения: 31.01.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11.

4. Васильев С. М., Домашенко Ю. Е. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 4. С. 12–13.

5. Ольгаренко В. Иг., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Водный баланс и режим орошения овощных культур в условиях поймы Нижнего Дона // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 2(34). С. 1–16. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=967> (дата обращения: 31.01.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-1-16.

6. Гурина И. В., Мельник Т. В., Калечак И. М. Эффективность орошения картофеля весенней посадки современной дождевальнoй техникой в условиях юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4(52). С. 77–83. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-9.

7. Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П. Определение порога безубыточности при внедрении технологии прецизионного орошения в овощном севообороте // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 4(76). С. 38–42.

8. Бабичев А. Н., Сидаренко Д. П. Влияние современных способов орошения на водопотребление картофеля // Актуальные вопросы совершенствования систем земледелия в современных условиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием). Махачкала: Федер. аграр. науч. центр Респ. Дагестан, 2020. С. 190–193.

References

1. *Indeksy proizvodstva po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti (v protsentakh k predydushchemu godu)* [Production Indices by the Economic Activity Type (as a percentage of the previous year)], available: <https://rostov.gks.ru/storage/mediabank/> [accessed 31.01.2022]. (In Russian).

2. *Sel'skoe khozyaystvo v Rossii. 2021: stat. sb.* [Agriculture in Russia. 2021. Statistical Book]. Moscow, Rosstat, 2021, 100 p. (In Russian).

3. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2019. [Conceptual and methodological principles (fundamentals) of the development strategy for land reclamation as a national treasure of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 1-11, available:

<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> [accessed 31.01.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11. (In Russian).

4. Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., 2018. *Regulirovanie upravlencheskikh protsessov v strukturirivannykh problemnykh situatsiyakh APK* [Regulating managerial processes in structured problematic situations of agro-industrial complexes]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 12-13. (In Russian).

5. Olgarenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2019. [Water balance and irrigation regime for vegetable crops in the Lower Don floodplain]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(34), pp. 1-16, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=967> [accessed 31.01.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-1-16. (In Russian).

6. Gurina I.V., Melnik T.V., Kalechak I.M., 2018. *Effektivnost' orosheniya kartofelya vesenney posadki sovremennoy dozheval'noy tekhnikoy v usloviyakh yuga Rossii* [Efficiency of irrigation of spring planted potatoes by the modern sprinkler in the south of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 4(52), pp. 77-83, DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-9. (In Russian).

7. Babichev A.N., Sidarenko D.P., 2019. *Opredelenie poroga bezubytochnosti pri vnedrenii tekhnologii pretsizionnogo orosheniya v ovoshchnom sevooborote* [Determining the break-even point when introducing precision irrigation technology in vegetable crop rotation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(76), pp. 38-42. (In Russian).

8. Babichev A.N., Sidarenko D.P., 2020. *Vliyanie sovremennykh sposobov orosheniya na vodopotrebleniye kartofelya* [Influence of modern irrigation methods on potato water consumption]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya sistem zemledeliya v sovremennykh usloviyakh: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Urgent Issues of Improving Farming Systems under Modern Conditions: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference (with International Participation)]. Makhachkala, Federal Agrarian Scientific Center of the Republic Dagestan, pp. 190-193. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

Д. П. Сидаренко – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

D. P. Sidarenko – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

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 interest.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 25.02.2022; принята к публикации 04.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 25.02.2022; accepted for publication 04.03.2022.

Научная статья

УДК 639.3

**О выращивании живого корма в бассейнах
приводохранилищных рыбоводно-мелиоративных комплексов**

Виктор Николаевич Шкура¹, Алексей Викторович Шевченко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: обоснование целесообразности и разработка способа культивирования живого зоопланктонного корма в рыбовых бассейнах рыбоводно-мелиоративного комплекса, устраиваемого при ирригационном водохранилище. Установлено, что кормление выращиваемых рыб живыми белковыми кормами позволяет гидробионтам в 10–20 раз быстрее достигать требуемых физиологических кондиций. **Материалы и методы.** При проведении настоящих исследований применялись общепринятые методы научного поиска, анализа и синтеза. При разработке технологии возделывания живого корма использовались известные и апробированные методы и приемы его бассейнового культивирования. **Результаты.** Наиболее перспективным в условиях приводежного рыбоводно-мелиоративного комплекса представляется культивирование зоопланктонного корма (низших ракообразных) – дафний, мoin и жабронога. Технологические операции по его (их) воспроизводству предлагается осуществлять в системе адаптационно-выростных бассейнов – личиночном, мальковом и сеголеточном. Выращенным в рыбовых бассейнах живым кормом осуществляется стартовое питание личинок, выпущенных из инкубационно-личиночного цеха, а также кормление рыб на последующих их стадиях роста и развития (мальковой и сеголеточной). Межбассейновое перемещение кормовой смеси осуществляется совместно с выращенными рыбами водным потоком по отводящей трубопроводной линии в напорно-самотечном режиме. **Вывод.** В результате проведенных исследований обоснована целесообразность и предложена технология выращивания живого корма в рыбовых бассейнах приводохранилищного рыбопитомника.

Ключевые слова: выращивание рыб, рыбоводно-мелиоративный комплекс, рыбоводный бассейн, кормление рыб, живой корм, зарыбление водохранилища

Original article

**On growing live food in pools at water reservoirs
of fish-breeding and reclamation complexes**

Viktor N. Shkura¹, Alexey V. Shevchenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: substantiation of the feasibility and development of a method for cultivating live zooplankton food in fish-breeding pools of a fish-breeding and reclamation complex, arranged at an irrigation reservoir. It has been found that feeding cultivated fish with live protein feeds allows hydrobionts to reach the required physiological conditions 10–20 times

faster. **Materials and methods.** When conducting these studies, generally accepted methods of scientific search, analysis and synthesis were used. When developing the technology for growing live food, well-known and proven methods and techniques for its pool cultivation were used. **Results.** Cultivation of zooplankton food (lower crustaceans) – daphnia, moins and gill-leg seems to be the most promising under the conditions of the reservoir fish-breeding and reclamation complex. Technological operations for its (their) reproduction are proposed to be carried out in the system of adaptation-growth pools – larval, fry and underyearlings. Live food grown in fish breeding reservoirs is used for starting feeding of larvae released from the incubation-larval workshop, as well as for feeding fish at their subsequent growth and development stages (fry and underyearlings). The interbasin movement of the feed mixture is carried out together with the raised fish by the water flow along the outlet pipeline in a pressure-gravity flow mode. **Conclusion.** As a result of the research, the feasibility was substantiated and a technology for growing live food in fish-breeding pools at water reservoir fish hatchery was proposed.

Keywords: fish farming, fish breeding and reclamation complex, fish tank, fish feeding, live food, reservoir stocking

Введение. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июля 2021 г. № 2012-р предусмотрено проведение биологических мелиораций водоемов бассейна Нижнего Дона, в т. ч. водохранилищ, используемых для нужд ирригации [1]. Одним из способов улучшения комплексного экологического состояния фитозагрязненных водных объектов оросительного назначения (каналов, прудов и водохранилищ) и повышения их рыбохозяйственной ценности является проведение их ихтиологических мелиораций, реализуемых запуском растительноядных рыб, выращенных в приводомных рыбоводно-мелиоративных комплексах [2–4]. Указанные рыбоводные объекты устраиваются с целью выращивания рыбопосадочного материала растительноядных видов рыб, адаптированных к условиям (гидравлическим, климатическим, физико-химическим и многим другим) зарыбляемого водного объекта. Последующий выпуск гидробионтов-интродуцентов в фитозагрязненный ирригационный водоем обеспечивает проведение его комплексных ихтиологических мелиораций.

Объектами рыбоводства в приводохранилищных рыбопитомниках являются белый и пестрый толстолобик, белый и черный амур, карп, выращиваемые в поликультуре (совместно). Указанное сочетание гидробионтов обеспечивает высокую эффективность проводимых ихтиомелиоративных мероприятий за счет потребления рыбами разнообразного пищевого рациона и повышает (с течением времени) рыбопродуктивность водохранилища. Согласно многочисленным данным опытных исследований, выпуск в ихтиомелиорируемое водохранилище сеголетков или годовиков белого амура позволяет снизить избыточное количество макрофитов, белого толстолобика – уменьшить число взвешенных в толще воды растительных фитопланктонных организмов, черного амура – снизить избыточное количество дрейсены, пестрого толстолобика – уменьшить количество детрита, представляющего совокупность отмерших донных организмов растительного и животного происхождения, карпа – снизить содержание в водоеме зоопланктонных и зообентосных организмов, а также некоторых видов водорослей.

Следует отметить, что современная теория и практика рыбоводства пошли по пути оптимизации и интенсификации производственных процессов, т. е. получения максимума товарной продукции с единицы площади водоема при минимальных материальных, трудовых и, соответственно, экономических затратах. Одним из наиболее эффективных и простых в плане практической реализации приемов интенсификации процесса рыбоводства является кормление рыб, выращиваемых в различных водоемах аквакультурного назначения (прудах, бассейнах и т. д.). Корм, применяемый в целях

воспроизводства рыбных биологических ресурсов, по типу своего происхождения подразделяется на неживой (представленный, как правило, цельнозерновыми и дроблеными растительными культурами, сушеными водорослями и т. д.) и живой (дафнии, моины, науплии и другие представители низших ракообразных). По типу локализации (сосредоточения) в водном пространстве естественного или искусственного водоема (пруда, озера, водохранилища и т. д.) подразделяется на поверхностный (находящийся на поверхности водной глади), взвешенный (распределенный в водной толще), придонный и донный. Следует отметить, что потребление рыбами растительного корма приводит к увеличению жирности их тела, а при использовании живых пищевых компонентов наблюдается рост мышечной ткани гидробионтов (при минимальной жировой прослойке) [5]. Таким образом, при внесении живых пищевых компонентов в рацион культивируемых рыб наблюдается ускорение показателей их роста, увеличение коэффициента упитанности и выживаемости, что, следовательно, приводит к повышению рыбопродуктивности аквакультурного водоема. Вышесказанное подтверждается исследованиями А. И. Исаева (1968), в которых отмечается, что при высоких плотностях посадки гидробионтов их искусственное кормление позволяет в 10–20 раз увеличить выход товарных гидробионтов. Поэтому представляется целесообразным и перспективным использование живых кормов в целях культивирования рыб в условиях искусственных водоемов.

Исследованиями в области искусственного воспроизводства живых кормов в целях их последующего применения в пресноводном рыбоводстве в разное время занимались такие известные ученые, исследователи и специалисты, как Н. С. Гаевская (1936), А. Н. Державин (1940), М. М. Брискина (1956), А. Ф. Гунько (1960), К. А. Воскресенский (1960), М. К. Аскеров (1965), Л. П. Максимова (1968), П. А. Воронов (1973), А. П. Иванов (1988), И. Б. Богатова (1992), Ю. Л. Герасимов (2003), Н. Н. Моисеев (2007), М. Э. Мухитова (2017), А. Е. Шарашина (2021) и многие другие [5–13].

Учитывая установленный высокий положительный эффект от применения живых кормов в рыбоводстве, за цель исследования приняли разработку технологии их культивирования в рыбовыростных бассейнах приводоимого рыбопитомника.

Материалы и методы. Настоящая работа выполнялась с использованием широко используемых методов научного поиска, анализа и синтеза. Теоретическую основу работы составили специальные данные, посвященные выращиванию живого корма для рыб в условиях его искусственного воспроизводства в бетонных водонаполняемых бассейнах, а также материалы комплексных исследований специалистов и ученых в области культивирования рыбных гидробионтов с применением живых кормовых смесей.

Результаты и обсуждение. При выращивании рыб в условиях прудовых рыбопродуктивных комплексов пищевые потребности гидробионтов удовлетворяются за счет естественной кормовой базы водоема, формирующейся после его заполнения водой. При высокоинтенсивном способе культивирования гидробионтов в прудах и заводских бассейнах применяются приемы по искусственному их кормлению с использованием растительных и живых пищевых компонентов, подаваемых рыбам извне в определенных нормированных порциях и (или) пропорциях. При этом указанными выше технологиями не предусматривается возможность создания условий для естественного зарождения, роста и развития кормовой базы в рыбопродуктивных водоемах (бассейнах). Восполнить отсутствие естественного корма при культивировании рыб в рыбопродуктивных открытых бетонных бассейнах возможно путем организации технических, гидравлических и физико-химических условий для его выращивания в них.

Для определения оптимальных и универсальных живых кормовых компонентов, потребляемых рыбами, культивируемыми в приводоимом рыбопитомнике, необходимо привести их краткую нутрио-биологическую характеристику.

Белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*) является преимущественно планктоноядной рыбой, питается растительным планктоном (в подавляющем большинстве представленным цианобактериями (синезелеными водорослями)) на протяжении всего жизненного периода, кроме ранних стадий развития, когда его рацион в большом спектре представлен зоопланктонными ракообразными (Ф. М. Суховеров, 1960) [6]. Планктон представляет собой взвешенные в толще воды организмы растительного (фитопланктон) и животного (зоопланктон) происхождения. Интродуцирование рыб-фитопланктонофагов в водный объект представляется наиболее целесообразным при поражении его экосистемы синезелеными (протококковыми) водорослями, следствием которого является дефицит растворенного в воде кислорода, приводящий к кислородному голоданию гидробионтов и ряду других возможных негативов.

Рацион пестрого толстолобика (*Hypophthalmichthys nobilis*) в большинстве экспериментально исследованных случаев представлен детритом (отмершими и осевшими или взвешенными в толще воды организмами животного и растительного происхождения), а также зоо- (чаще) и фито- (реже) планктоном [7].

Белый амур (*Stenopharyngodon idella*) относится преимущественно к растительной рыбе. В период личиночной стадии роста и развития (до достижения 4-недельного возраста) кормится преимущественно зоо- и фитопланктоном. С увеличением линейных и массовых габаритов для данного вида рыб характерен переход на питание крупной надводной и внутриводной растительностью (макрофитами) [5].

Карп (*Cyprinus carpio*) – бентосоядная рыба, питающаяся организмами животного происхождения (личинками насекомых, червями, всевозможными ракообразными), сосредоточенными в донной нише водоема. Преимущественный рацион карпа объясняется физиологическим строением его рта, адаптированного для добычи пищи со дна водоема. Однако в зависимости от конкретных условий водоема данный вид рыб может как питаться в толще воды, так и собирать корм с ее поверхности [7].

Черный амур (*Mylopharyngodon piceus*) по доминантным пищевым предпочтениям может быть отнесен к моллюскофагам. На личиночном этапе роста основу его рациона составляют зоопланктонные организмы, на мальковом – бентос, в постмальковом периоде – моллюски (ракушки-дрейсены (*Dreissena polymorpha*)) [13]. Перспективность и высокая эффективность использования особей черного амура как средства для борьбы с избытком пресноводных моллюсков подтверждается в работах Ю. А. Привезенцева, В. А. Власова, В. Б. Сазанова и др. [14, 15].

С учетом потребляемого рациона использование указанных видов рыб в качестве биологических мелиорантов водных объектов весьма перспективно.

Применительно к условиям приводохранилищного рыбоводно-мелиоративного комплекса выращивание описанного выше рыбопосадочного материала осуществляется в каскаде рыбоводных бассейнов. В связи с этим нам представляется возможным, перспективным и экономически целесообразным использование указанных водоемов не только для целей выращивания и адаптации рыб к условиям зарыбляемого водохранилища, но и для культивирования в них живого корма, представленного в основном беспозвоночными низшими ракообразными гидробионтами (зоопланктоном).

Отметим, что согласно данным исследований Д. И. Иванова (1984) личинки карпа, перешедшие на экзогенное питание, в первые пять-шесть дней жизни склонны употреблять скорее естественный (живой), нежели искусственный (растительный) корм [8].

Известны способы выращивания коловраток, артемий, жабронога и других ракообразных гидробионтов в малоплощадных водонаполняемых бетонных бассейнах (Ю. Л. Герасимов, 2003), которые могут быть успешно адаптированы под рыбоводные бассейны со средней площадью акваториального пространства (от 0,1 до 0,3 га) [7].

Наибольший практический интерес с учетом нутрициологии рыб, выращиваемых в условиях рыбоводных бассейнов приводохранилищного рыбоводно-мелиоративного комплекса, представляет культивирование дафний, мойн и жабронога (рассмотрено ниже на примере личиночного адаптационно-выростного бассейна).

Дафнии (*Daphnia*) – ветвистоусые рачки, используемые в целях аквакультуры в качестве живого корма для рыб. Культивирование дафний применительно к условиям функционирования рыбоводно-мелиоративного комплекса осуществляется следующим образом. За 25–30 сут до выпуска личинок рыб, перешедших на экзогенное (внешнее) питание, в личиночный бассейн, заполненный водой на 0,6–0,7 м, вносится маточная культура *Daphnia* в объеме 30–150 г/м³. За указанный временной интервал происходит ее созревание (при температуре воды 18–20 °С, водородном показателе 7,6–8,0 и содержании в ней кислорода 7,6–8,0 единиц), выклев (при выходе рачков 35 г/м³) и достижение подходящих для стартового и последующего питания рыб размеров. Подкормка дафний осуществляется подачей в бассейн кормовых дрожжей (в сухом виде или в состоянии суспензии) в объеме 16 г/м³ (в день выклева) и 8 г/м³ (в последующие).

Моины (*Moina rectirostris*) являются наиболее подходящим (по размерам, питательной ценности и другим показателям) стартовым живым кормом для личинок рыб, перешедших на внешнее питание. Размер молоди моины составляет порядка 0,3–0,4 мм, взрослой особи – порядка 1,5 мм. Выращивание указанных зоопланктонных ракообразных осуществляется в условиях отсутствия проточности водных масс в рыбоводном бассейне. Перед внесением маточной культуры мойн в заполненный водой (на глубину 0,6–0,7 м) личиночный бассейн вносят суспензию дрожжей в объеме 500 г/м³. Интродукция дрожжей обеспечивает рост протококковых водорослей и бактерий, являющихся кормовой базой для рачков. При достижении концентрации водорослей 35–40 млн клеток в 1 мл воды вносят (осуществляют зарядку бассейнов) маточную культуру мойн (за 10–16 сут до выпуска личинок рыб) в объеме, рекомендуемом Л. П. Максимовой и составляющем 40 г/м³. При соблюдении всех указанных требований по их выращиванию на 3–4-е сутки происходит созревание культуры мойн и их выклев. Средний выход особей составляет порядка 105 г/(м³·сут) (при 10–16 сут эксплуатации бассейна).

Жаброноги, или науплии (*Streptocephalus torvicornis*), относятся к семейству низших ракообразных зоопланктонных организмов. Широко используются в рыбоводстве в качестве живого корма для рыб. Являются объектом пресноводной аквакультуры. При плотности закладки яиц 500 г/м³ и температуре водной среды 19–25 °С выклев жаброногов происходит на 4–6-е сутки при среднем показателе выхода особей 400 г/м³. Формирование кормовой среды для рачков осуществляется на 3-й день после зарядки личиночного бассейна их маточной культурой. Объем подкормки для рачков – 15 г сухих дрожжей или их суспензии на 1 м³ водоема при интервале подачи 1 раз в 3 сут. Размеры 3–5 мм и массы 0,3–1,2 мг жаброног достигает на 10-й день с момента вылупления. Для получения особей длиной 30 мм, или 200 мг в массовом эквиваленте, плотность закладки яиц при температуре воды в бассейне 19–25 °С должна составлять 10 г/м³. Кормление рачков при разреженной посадке осуществляется дрожжами, подаваемыми раз в сутки в объеме 20–25 г/м³. На 18–21-й день науплии достигают половой зрелости и начинают откладывать яйца, вылупление которых происходит после гибели рослых особей (в связи с потреблением их выпущенными в водоем рыбами). За месяц выращивания науплий по разреженной посадке их биомасса достигает 1–2 кг/м³.

Имеет место выращивание дафний, мойн и жабронога в поликультуре [12].

По завершении операций по выращиванию живого корма в рыбоводном бассейне из заводского инкубационно-личиночного цеха выпускаются личинки рыб.

Отметим, что при выращивании карпа в условиях тепловодных хозяйств бассей-

нового типа в первые дни подращивания личинок рекомендуется их кормление живым кормом. При этом суточная норма его потребления рыбами составит: в первые дни кормления – 100 % массы тела, на 10–20-й день – 50 %, на 20–30-й день – 30 % [9].

Согласно опытным данным норма потребления рыбами корма является переменной во времени величиной и зависит от множества факторов: проточности воды, ее температурного режима, частоты подачи корма, атмосферного давления, освещенности и ряда других показателей. Например, в весенне-летний период при температуре водной среды порядка 25 °С уровень потребления корма сеголетками карпа составляет 15 % от массы тела особи, а при температуре воды 14 °С снижается до 5 % [14].

В таблице 1 приведено количество пищевых компонентов, потребляемых рыбами в сутки (суточный рацион) на определенной стадии их физиологического развития.

Таблица 1 – Нормы потребления корма карповыми рыбами на различных стадиях их роста по разным источникам [5–15]

Table 1 – Feed consumption rates by carps at different stages of their growth according to different sources [5–15]

Стадия роста (масса)	Объект рыбоводства				
	Белый амур	Черный амур	Белый толстолобик	Пестрый толстолобик	Карп
Личинка (25–30 мг)	100	100 (70–90)	100	100	100
Малек (0,5–1 г)	80	65	25–40	25–40	30
Сеголеток (25–30 г)	30	3–6; 24	80	80	5–15
Годовик (250–500 г)	2–5	2–5	2–5	2–5	2–5

В % массы тела

Рассмотрим частный пример расчета количества живого корма, требуемого для обеспечения им 4250000 личинок, выращиваемых в личиночном рыбоводном бассейне площадью 0,1 га и средней глубиной 0,675 м, который входит в состав рыбоводных объектов приводоимого рыбоводно-мелиоративного комплекса, описанного в нашей работе 2021 г. [4]. С использованием данных таблицы 1 определяем суточную норму потребления корма одной особью (соответственно, на личиночной стадии ее роста и развития) и по формуле находим объем корма, требуемый для удовлетворения пищевых потребностей общего числа рыб:

$$K_{\text{корма}} = \frac{n_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}} \cdot N_{\text{корма}}^{\text{сут}}}{1000} = \frac{4250000 \cdot 0,025 \cdot 1,5}{1000} = 159,4 \text{ кг}, \quad (1)$$

где $K_{\text{корма}}$ – общее количество корма, потребляемого рыбами, кг;

$n_{\text{л}}$ – количество культивируемых личинок в рыбоводном бассейне, шт.;

$m_{\text{л}}$ – масса отдельной особи в личиночной стадии роста и развития, г;

$N_{\text{корма}}^{\text{сут}}$ – коэффициент суточной нормы потребления рыбами корма.

Общее количество маточной культуры, вносимой в рыбоводный бассейн:

$$M_{\text{корма}} = \frac{V_{\text{б}}^{\text{л}} \cdot \rho_{\text{к}}}{1000} = \frac{675 \cdot 40}{1000} = 27,0 \text{ кг}, \quad (2)$$

где $M_{\text{корма}}$ – общее количество вносимой маточной культуры живого корма, кг;

$V_{\text{б}}^{\text{л}}$ – объем личиночного рыбоводного бассейна, м³;

$\rho_{\text{к}}$ – плотность посадки маточной культуры живого корма, г/м³.

Количество живого корма, получаемого в личиночном бассейне объемом 675 м³:

$$N_{\text{корма}} = \frac{V_{\text{Б}}^{\text{л}} \cdot B_{\text{корма}}}{1000} = \frac{675 \cdot 105}{1000} = 70,9 \text{ кг}, \quad (3)$$

где $N_{\text{корма}}$ – общее количество получаемого живого корма, кг;

$V_{\text{Б}}^{\text{л}}$ – объем чаши личиночного рыбоводного бассейна, м³;

$B_{\text{корма}}$ – выход (съем) выращенного корма с единицы объема водоема, г/м³.

В таблице 2 приведены данные расчета количества зоопланктона (моин, дафний и жабронога), получаемого в личиночном рыбоводном бассейне объемом $V_{\text{Б}}^{\text{л}} = 675 \text{ м}^3$.

Таблица 2 – Данные расчета количества живого корма, полученного в условиях его выращивания в личиночном бассейне объемом 675 м³

Table 2 – Data for calculating the amount of live food obtained under conditions of its growth in a larval pool with a volume of 675 m³

Показатель	Вид живого корма		
	Дафнии	Моины	Жаброног
Съем, г/м ³	35,0	105,0	400,0
Суммарный съем, кг	23,6	70,9	270,0
Время выращивания, сут	18,0–20,0	3,0–4,0	10,0

Приведенные технологические расчеты, выполненные по формулам (1)–(3), и описанные ранее технологии выращивания живого зоопланктонного корма справедливы в том числе и для условий его выращивания в мальковом и сеголеточном бассейнах.

По окончании периода выращивания рыб в личиночном бассейне подращенные личинки совместно с полученной поликультурой зоопланктона (и его маточной культурой) перемещаются водным потоком в нижерасположенный в каскаде мальковый бассейн и по завершении операций по получению малька – в сеголеточный бассейн.

Стоит отметить, что при выращивании рыб с применением живых кормов контрольные отловы навески особей следует производить не менее 2 раз в месяц с целью оценки показателей их роста, развития и качества в целом [10].

Выращивание живого корма в рыбоводных бассейнах позволяет формировать достаточную для активного роста и развития рыб белковую кормовую базу, что повышает их выживаемость и эффективность ведения рыбоводства в целом.

Настоящая работа представляет интерес для специалистов в области рыбоводства и пресноводной аквакультуры и может быть использована для проведения дальнейших и более глубоких исследований по этому направлению.

Выводы

1 Обосновано использование рыбоводных бассейнов в качестве водоемов для культивирования живого корма (моин, дафний и науплий).

2 Предложена и адаптирована технология выращивания низших ракообразных гидробионтов (зоопланктона) под условия ее использования в адаптационно-выростных бассейнах приводоемного (приводохранилищного) рыбопитомника.

3 Произведен расчет количества живого корма, получаемого в результате его выращивания в личиночном рыбоводном бассейне с объемом чаши 675 м³, для обеспечения (кормления) им 4,5 млн личинок гидробионтов.

Список источников

1. Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 21 июля 2021 г. № 2012-р. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».

2. Баев О. А., Гарбуз А. Ю., Шкура В. Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 151–156.
3. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Рыбоводно-мелиоративный комплекс для ихтиологических мелиораций и ведения рыбоводства в эвтрофных водоемах (на примере Веселовского водохранилища на реке Западный Маныч) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 7(186). С. 68–79.
4. Шевченко А. В., Шкура В. Н. Методика определения размеров рыбоводных бассейнов в составе приводохранилищного рыбоводно-мелиоративного комплекса // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 4(84). С. 81–87.
5. Исаев А. И. Разведение рыбы в оросительных водоемах и на полях. М.: Колос, 1968. 135 с.
6. Суховеров Ф. М. Рыбоводство в пойменных озерах. М.: Пищепромиздат, 1948. 148 с.
7. Герасимов Ю. Л. Основы рыбного хозяйства: учеб. пособие. Самара: Сам. ун-т, 2003. 108 с.
8. Иванов Д. И. Рост и физиологические показатели личинок карпа, выращиваемых на искусственных кормах при разных температурах в условиях индустриального рыбоводства: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10. Л., 1984.
9. Королева В. А. Использование сбросных термальных вод электростанций в рыбоводстве. М., 1978. 56 с.
10. Обеспечение высокой рыбопродуктивности прудовых экосистем в условиях Узбекистана / В. Я. Пушкарь, В. Н. Дубович, Л. Ф. Крупнов, З. Р. Саидов. М., 1982. 29 с.
11. Керашев М. А. Интенсификация и повышение эффективности прудового рыбоводства. М.: Агропромиздат, 1985. 157 с.
12. Иванов А. П. Рыбоводство в естественных водоемах. М.: Агропромиздат, 1988. 367 с.
13. Кончиц В. В., Сазанов В. Б. Характеристика питания личинок и сеголетков черного амура, выращиваемого в условиях прудовых хозяйств Беларуси // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2010. № 10. С. 57–70.
14. Привезенцев Ю. А., Власов В. А. Рыбоводство. М.: Мир, 2004. 456 с.
15. Кончиц В. В., Сазанов В. Б. Влияние двухлетков черного амура на динамику развития моллюсков в прудовых хозяйствах Беларуси // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2010. № 26. С. 80–89.

References

1. *Ob utverzhdenii plana meropriyatiy ("dorozhnoy karty") po ozdorovleniyu i razvitiyu vodokhozyaystvennogo kompleksa reki Don* [On approving the action plan ("road map") on improvement and development a water management complex of the river Don]. Order of the Government of the Russian Federation of July 21, 2021, no. 2012-r. (In Russian).
2. Baev O.A., Garbuz A.Yu., Shkura V.N., 2018. *Rybovodnyy kompleks na baze orositel'no-obvodnitel'nogo kanala i maloy reki* [Fish-breeding complex based on irrigation/water distribution canal and small river]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 151-156. (In Russian).
3. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2021. *Rybovodno-meliorativnyy kompleks dlya ikhtiologicheskikh melioratsiy i vedeniya rybovodstva v evtrofnykh vodoemakh (na primere Veselovskogo vodokhranilishcha na reke Zapadnyy Mаныч)* [Fish breeding and reclamation complex for ichthyological reclamation and fish farming in eutrophic reservoirs (on the example of the Veselovsky reservoir on the Western Mаныч river)]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo* [Fish Farming and Fishery], no. 7(186), pp. 68-79. (In Russian).

-
4. Shevchenko A.V., Shkura V.N., 2021. *Metodika opredeleniya razmerov rybovodnykh basseynov v sostave privodokhranilishchnogo rybovodno-meliorativnogo kompleksa* [Method for determining the size of fish-breeding basins as part of a fish-breeding and reclamation complex at a water reservoir]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(84), pp. 81-87. (In Russian).
 5. Isaev A.I., 1968. *Razvedenie ryby v orositel'nykh vodoemakh i na polyakh* [Fish Breeding in Irrigation Reservoirs and Fields]. Moscow, Kolos Publ., 135 p. (In Russian).
 6. Sukhoverov F.M., 1948. *Rybovodstvo v poymennykh ozerakh* [Fish Farming in Floodplain Lakes]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 148 p. (In Russian).
 7. Gerasimov Yu.L., 2003. *Osnovy rybnogo khozyaystva: ucheb. posobie* [Fundamentals of Fisheries: textbook]. Samara, Samara University Publ., 108 p. (In Russian).
 8. Ivanov D.I., 1984. *Rost i fiziologicheskie pokazateli lichinok karpa, vyrashchivaemykh na iskusstvennykh kormakh pri raznykh temperaturakh v usloviyakh industrial'nogo rybovodstva. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk* [Growth and physiological parameters of carp larvae grown on artificial feed at different temperatures in industrial fish farming. Abstract of cand. biol. sci. diss.]. Leningrad. (In Russian).
 9. Koroleva V.A., 1978. *Ispol'zovanie sbrosnykh termal'nykh vod elektrostantsiy v rybovodstve* [Use of Waste Thermal Waters of Power Plants in Fish Farming]. Moscow, 56 p. (In Russian).
 10. Pushkar V.Ya., Dubovich V.N., Krupnov L.F., Saidov Z.R., 1982. *Obespechenie vysokoy ryboproduktivnosti prудovykh ekosistem v usloviyakh Uzbekistana* [Ensuring High Fish Productivity of Pond Ecosystems in Uzbekistan]. Moscow, 29 p. (In Russian).
 11. Kerashev M.A., 1985. *Intensifikatsiya i povyshenie effektivnosti prудovogo rybovodstva* [Intensification and Improvement of the Efficiency of Pond Fish Farming]. Moscow, Agropromizdat Publ., 157 p. (In Russian).
 12. Ivanov A.P., 1988. *Rybovodstvo v estestvennykh vodoemakh* [Fish Farming in Natural Reservoirs]. Moscow, Agropromizdat Publ., 367 p. (In Russian).
 13. Konchits V.V., Sazanov V.B., 2010. *Kharakteristika pitaniya lichinok i segoletkov chernogo amura, vyrashchivaemogo v usloviyakh prудovykh khozyaystv Belarusi* [Feeding characteristics of black carp larvae and underyearlings grown conditions of pond fish farms in Belarus]. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi* [Issues of Fish Industry in Belarus], no. 10, pp. 57-70. (In Russian).
 14. Privezentsev Yu.A., Vlasov V.A., 2004. *Rybovodstvo* [Fish Farming]. Moscow, Mir Publ., 456 p. (In Russian).
 15. Konchits V.V., Sazanov V.B., 2010. *Vliyanie dvukhletkov chernogo amura na dinamiku razvitiya mollyuskov v prудovykh khozyaystvakh Belarusi* [Influence of two-year-old black carp on the dynamics of mollusks development at pond fish farms of Belarus]. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi* [Issues of Fisheries of Belarus], no. 26, pp. 80-89. (In Russian).
-

Информация об авторах

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, 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 25.01.2022; одобрена после рецензирования 03.02.2022.; принята к публикации 16.02.2022.

The article was submitted 25.01.2022; approved after reviewing 03.02.2022; accepted for publication 16.02.2022.

Обзорная статья
УДК 528:632.125

**К вопросу использования ГИС-технологий для сопровождения
сельскохозяйственного производства и оценки устойчивости
к деградации земель агроландшафтов (на примере Ростовской области)**

Светлана Александровна Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Аннотация. Цель: исследование возможности обеспечения ГИС-технологиями информационного сопровождения сельскохозяйственного производства и оценки устойчивости к деградации земель агроландшафтов. **Материалы и методы.** Материалами для исследования послужили функциональные особенности ГИС-технологий, труды российских и зарубежных ученых, картографический материал, имеющийся в открытом доступе в ресурсах интернета. Методы исследования базировались на анализе, синтезе, наблюдении и прогнозе. **Обсуждения.** Космический дистанционный мониторинг проводится на постоянной основе и позволяет периодически обновлять и пополнять базу данных. В сфере агропроизводства относительно земель сельскохозяйственного назначения в настоящее время в подсистеме ГИС сельского хозяйства (СХ) Ростовской области осуществляется мониторинг полей и культур в реальном времени, производится автоматический сбор информации о посевах культур по спутниковым снимкам, что в современных условиях является недостаточным условием для формирования базы данных ГИС СХ Ростовской области. В статье предлагается вариант информационного и программного обеспечения указанной системы. **Выводы.** ГИС СХ в субъектах федерации призвана сыграть ключевую роль в качестве продукта информационно-аналитической системы, располагающей обширной базой данных, в т. ч. сформированной за счет оцифровки архивных материалов и наблюдений, отраженных в трудах ученых различного исторического периода. Подобный уровень наполнения базы данных позволит по максимуму сформировать информационные профили земель сельскохозяйственного назначения и составит основу анализа деградационной устойчивости агроландшафтов.

Ключевые слова: ГИС-технологии, космический дистанционный мониторинг, деградация земель, ГИС СХ Ростовской области, многослойные карты

Review article

**On issue of using GIS-technologies to support agricultural
production and assess the agricultural landscapes resistance
to land degradation (on the example of Rostov region)**

Svetlana A. Manzhina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Abstract. Purpose: to study the possibility of providing GIS-technologies for information support for agricultural production and assessing the resistance of agricultural landscapes to land degradation. **Materials and methods.** The materials for the study were the functional features of GIS-technologies, the works of Russian and foreign scientists, cartographic material available in the public domain on the Internet. The research methods were

based on analysis, synthesis, observation and forecast. **Discussions.** Space remote monitoring is carried out on a constant basis and allows periodically update and replenish the database. At present in the field of agricultural production in relation to agricultural land, in the GIS subsystem of agriculture of Rostov region the monitoring of fields and crops is carried out in real time, and the automatic collection of information on crops is fulfilled from satellite images, which is an insufficient condition for the formation of a GIS database of agricultural sector of Rostov region under current conditions. A variant of information and software support for the specified system is proposed. **Conclusions.** GIS of agricultural sector in the constituent entity of the Federation is designed to play a key role as a product of an information and analytical system that has an extensive database, including the one which was formed by digitizing archive materials and observations reflected in the works of scientists of various historical periods. Such a level of filling the database will make it possible to form information profiles of farmland to the maximum and will form the basis for the analysis of the degradation resistance of agrolandscapes.

Keywords: GIS-technologies, space remote monitoring, land degradation, GIS of agriculture of Rostov region, multilayer maps

Введение. Географические информационные системы (ГИС) – уникальный аналитический инструмент для создания компьютерных электронных карт, который в настоящее время нашел широкое применение во всех областях функционирования человеческого общества. Первые ГИС появились в начале 60-х гг. прошлого века в США и Канаде и представляли собой электронную картографическую базу данных, которая состояла из электронных слоев (карт) по государственным границам стран мира и их береговой линии [1]. Дальнейшее распространение области применения ГИС способствовало не только популяризации этих систем, но и расширению инструментального и программного сопровождения их использования.

Использование ГИС в сельском хозяйстве ведет свою историю с конца прошлого столетия [2–5]. На сегодняшний день использование ГИС-инструментов мировым сообществом в аграрном производстве является практической нормой [6].

Цель работы – исследование возможности обеспечения ГИС-технологиями информационного сопровождения сельскохозяйственного производства и оценки устойчивости к деградации земель агроландшафтов.

Материалы и методы. Материалами для исследования послужили функциональные особенности ГИС-технологий, труды российских и зарубежных ученых, картографический материал, имеющийся в открытом доступе в ресурсах интернета.

Методы исследования базировались на анализе, синтезе, наблюдении и прогнозе.

Обсуждения. Для формирования интегральных характеристик агроландшафтов в настоящее время широко используются как наземные (контактные и неконтактные) методы наблюдения, так и дешифрация спутниковых снимков, полученных в различных спектральных диапазонах. В рамках космического дистанционного мониторинга, который проводится на постоянной основе и позволяет периодически обновлять и пополнять базу данных, в настоящее время широко используется такой инструментарий:

1) оценка биопродуктивности растительности по нормализованному разностному индексу растительности (normalized difference vegetation index – NDVI) посредством спектральных измерений на снимках, полученных в видимой красной и ближней инфракрасной областях [7, 8];

2) картографирование и создание баз данных свойств почв, в т. ч.:

- содержание соединений железа и алюминия в почве по изменению спектральной отражательной способности почв [9];

- содержание гумуса в пахотном слое почвы в зависимости от изменений насыщенности ближнего инфракрасного спектра [10–12];

- содержание органического углерода в почвах [13];

- запасы почвенной влаги в слое 10 см (средние климатические за декаду, в т. ч. оперативные) [14];

- температура почвы [15];

- орографические характеристики местности в целях регистрации и оценки масштабных эрозионных процессов [16];

3) картографирование и создание баз данных производственных объектов и объектов инфраструктуры сельскохозяйственных территорий, в т. ч.:

- создание базы геоданных земель сельскохозяйственного назначения (кадастровая база данных);

- создание базы геоданных мелиоративных систем [17];

- создание базы геоданных производственных объектов и субъектов.

Рассматривая геопривязку месторасположения и границ различных объектов, следует отметить, что данное направление уже хорошо развито и активно практикуется во всем мире. Что касается оценки значимых характеристик климата, состояния растительности и в особенности физико-химического состояния почв, как показывает опыт ряда исследований, на современном этапе развития дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) эти данные не всегда достаточно корректно согласуются для различных территорий и экосистемных комплексов, по-разному коррелируются с наземными измерениями и контактными методами анализа и требуют калибровки на местности, это говорит в пользу использования всех имеющихся в арсенале научных методов исследования [16, 18].

В настоящее время у нас в стране собраны многолетние массивы данных наблюдений и картографические материалы, которые могут быть положены в основу формирования информационной модели геопривязанных объектов агрокомплекса России. Используя аналитические программы в рамках взаимодействия с имеющимся массивом данных, составляющим информационный профиль конкретного объекта ГИС сельского хозяйства (СХ), можно получать как фундаментальную информацию об объекте исследования, в т. ч. административный адрес, номер кадастрового учета, вид деятельности, направление использования почв, их тип и бонитировку, уровень грунтовых вод, их среднесуточную минерализацию и многое другое, так и оперативную, например, температуру почвы и атмосферного воздуха, влажность почв, густоту посевов и т. д.

В соответствии с постановлением Правительства Ростовской области от 22 июня 2017 г. № 462 «О региональной информационной системе «Геоинформационная система Ростовской области» рекомендовано «органам местного самоуправления муниципальных образований Ростовской области, заинтересованным организациям осуществлять информационное наполнение региональной информационной системы «Геоинформационная система Ростовской области» [19].

В сфере агропроизводства относительно земель сельскохозяйственного назначения в настоящее время в подсистеме ГИС СХ Ростовской области осуществляется мониторинг полей и культур в реальном времени, производится автоматический сбор информации о состоянии посевов по спутниковым снимкам (рисунок 1) [20].

Как уже упоминалось, современное функциональное назначение подобного рода ГИС имеет более широкий спектр решаемых проблем: распространение орошаемых земель, эродированность, эрозиоопасность, количество гумуса, содержание солей, микро- и макроэлементов, присутствие поллютантов, вспышки эпизоотий, распространение вредителей и т. д.

Решающую роль в формировании ГИС СХ Ростовской области должен сыграть научный сектор аграрной отрасли субъекта.

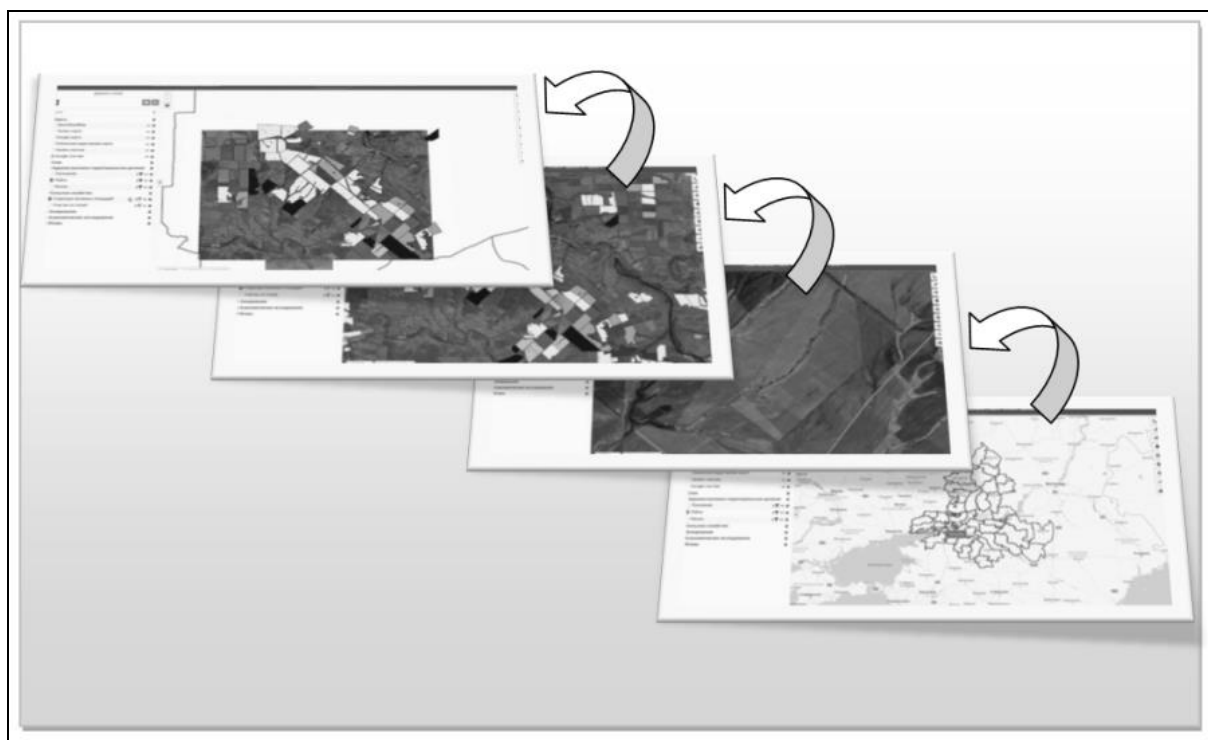


Рисунок 1 – Функционирование Геоинформационной системы сельского хозяйства Ростовской области

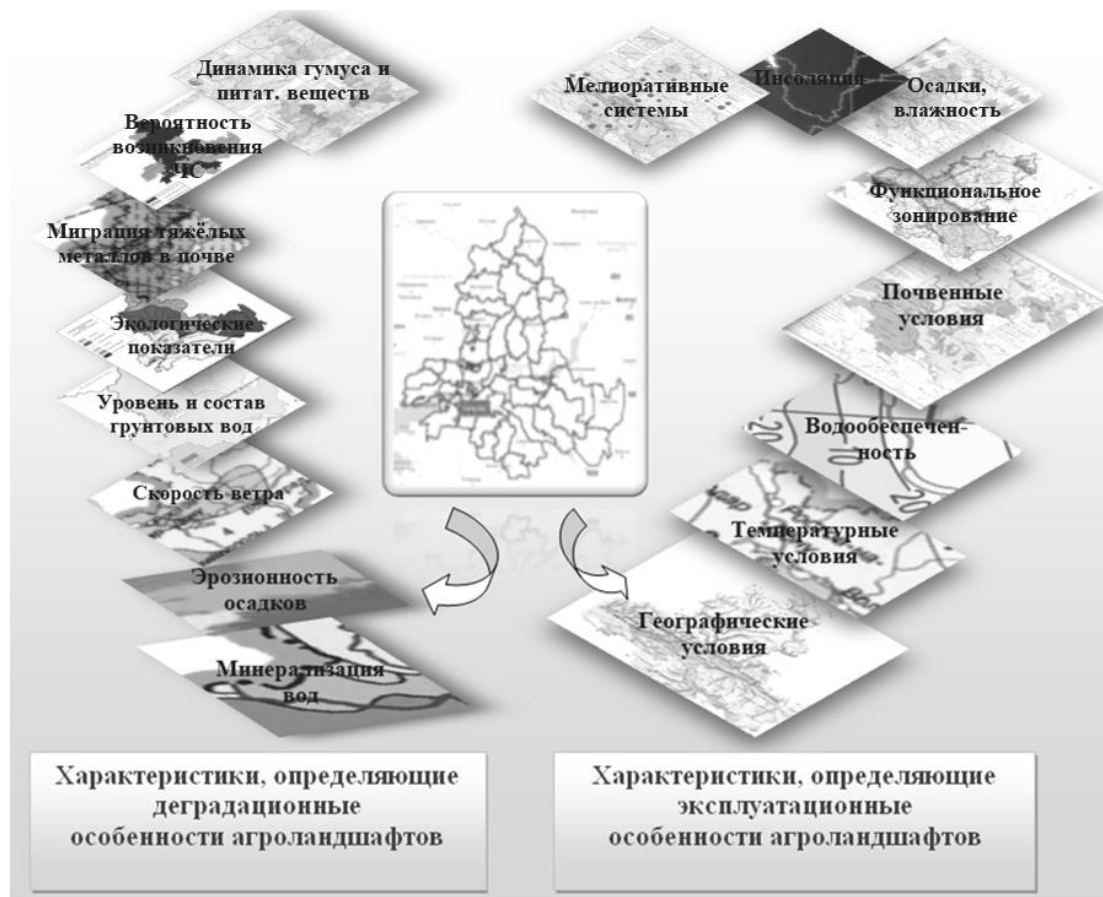
Figure 1 – Functioning of GIS agricultural sector of Rostov region

Наполнение действующей ГИС в рамках взаимодействия с научным сектором области будет осуществляться за счет обширной базы данных, собранной в процессе полевых научных исследований, включающей архивные документы, содержащие многолетние наблюдения за обследуемой территорией, многокомпонентную информацию и эмпирические данные. Такое информационное наполнение позволит осуществлять программными средствами ГИС анализ и прогноз развития ситуации на территории в процессе ведения хозяйственной деятельности, что, в свою очередь, будет способствовать более эффективному планированию направлений использования сложившихся агроэкосистем.

Для оптимизации использования ГИС СХ Ростовской области в первую очередь необходимо сформировать ее как информационно-справочную систему, сопроводив инструментарием, позволяющим вычленивать необходимые данные для ретроспективного и оперативного анализа интересующих параметров. Примером эффективного совмещения геоинформационных технологий может служить создание многослойной карты, позволяющей получить представление об особенностях территориальных почвенных комплексов и кадастровых участках, имеющих сельскохозяйственное назначение использования (рисунок 2).

В качестве характеристик, определяющих особенности использования земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области, предлагается выделить два направления: эксплуатационные и деградационные составляющие агроландшафта. Эти направления, несомненно, взаимосвязаны, и их разделение весьма условно, тем не менее эксплуатационные характеристики предполагают выбор основных показателей, отвечающих интересам выращивания сельскохозяйственных культур, а деградационные являются дополнительными характеристиками, анализ которых позволяет получить представление о возможных сценариях и направлениях негативного преобразования агроландшафта в процессе его эксплуатации. На основании анализа дополнительных

(эксплуатационных) характеристик будет приниматься решение об агротехнических особенностях выращивания культур, превентивных мерах, мелиоративных мероприятиях, реализация которых должна сопровождать производственную деятельность на выделенных территориях.



**Рисунок 2 – Необходимое информационное наполнение
Геоинформационной системы сельского хозяйства
Ростовской области: земли сельскохозяйственного назначения**

**Figure 2 – Necessary information content of GIS
of agricultural sector of Rostov region: farmland**

В состав баз данных необходимо вносить последние достижения сельскохозяйственной науки в области выращивания растений: варианты оптимальных севооборотов, исходя из региональных особенностей и бонитировки почв относительно сельскохозяйственных культур, формирование и расчет ресурсного обеспечения производства, графики выполнения работ в зависимости от региональных климатических условий и сортового обеспечения севооборотов и т. д. Все это, например, можно объединить в составе «рекомендательного блока» ГИС СХ Ростовской области.

В качестве варианта структурной организации ГИС необходимо совмещать выбор тематической карты из меню с возможностью вывода данных по интересующим параметрам в табличной и графической форме (рисунок 3).

Отдельный программный продукт, например, с рабочим названием «блок регистрации отклонений», основываясь на анализе большого массива данных за максимально доступный период времени, будет сопровождать осуществление мониторинга негативных изменений, регистрируемых в характеристиках и показателях обследуемого участка, с целью выявления процессов деградации и причин их возникновения.

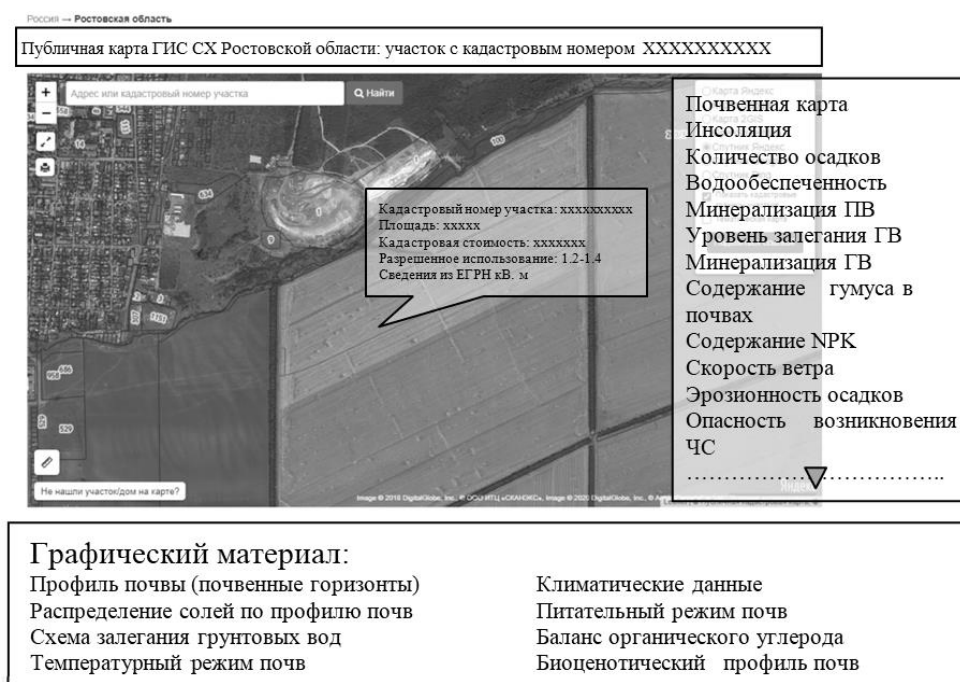


Рисунок 3 – Пример формирования дизайна пользовательского интерфейса Геоинформационной системы сельского хозяйства Ростовской области

Figure 3 – An example of the formation of the user interface design of GIS of agricultural sector of Rostov region

Пример программного обеспечения информационно-аналитической системы ГИС СХ Ростовской области («рекомендательный блок» и «блок регистрации отклонений») приведен на рисунке 4.

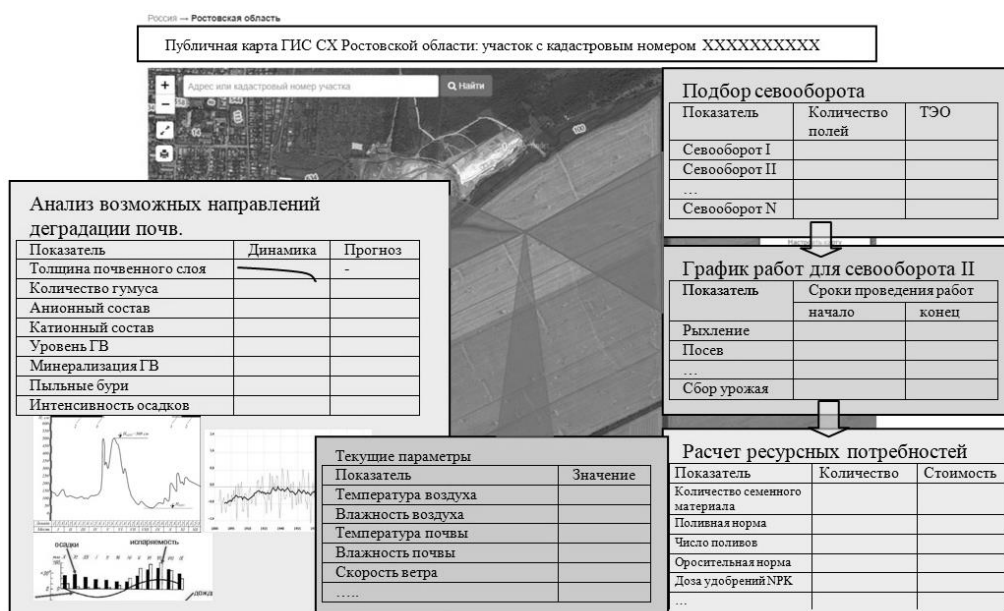


Рисунок 4 – Пример формирования информационно-аналитического программного обеспечения Геоинформационной системы сельского хозяйства Ростовской области

Figure 4 – An example of the information and analytical software formation of GIS of agricultural sector of Rostov region

Данные «блока регистрации отклонений» будут использоваться для принятия решения о введении компенсационных мероприятий, например, корректировки норм внесения удобрений в зависимости от выноса питательных веществ в результате поверхностного смыва или дефляции почв, проведении мелиоративных работ (например, работ по рассолению и раскислению почв, орошению сельскохозяйственных культур либо отводу излишней влаги с полей), рекультивации земель (например, восстановлению мощности плодородного слоя почв).

Выводы. ГИС СХ в субъектах федерации призвана сыграть ключевую роль в качестве продукта информационно-аналитической системы, располагающей обширной базой данных, в т. ч. сформированной за счет оцифровки архивных материалов и наблюдений, отраженных в трудах ученых различного исторического периода. Подобный уровень наполнения базы данных позволит по максимуму сформировать информационные профили земель сельскохозяйственного назначения и составит основу анализа деградационной устойчивости агроландшафтов.

Решающую роль в формировании ГИС СХ должен сыграть научный сектор аграрной отрасли.

Список источников

1. Геоинформатика: учеб. для студентов вузов / В. В. Глазырин, А. В. Заварзин, С. С. Замай, Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарёв, И. К. Лурье, В. А. Охонин, В. И. Пырьев, И. А. Рыльский, В. И. Семин, Б. Б. Серапинас, А. В. Симонов, В. С. Тикунов, А. М. Трофимов, М. Э. Флейс, О. Э. Якубайлик, В. Б. Яровых; под ред. В. С. Тикунова. М.: Академия, 2005. 480 с.
2. Ципилева Т. А. Геоинформационные системы: учеб. пособие. Томск: ТМЦ ДО, 2004. 162 с.
3. Жуковский О. И. Геоинформационные системы: учеб. пособие. Томск: ТУ-СУР, Эль Контент, 2014. 130 с.
4. Брыксин В. М., Евтюшкин А. В. Использование модели биопродуктивности EPIC и космоснимков MODIS для прогнозирования урожайности зерновых культур // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. № 2(4). С. 189–196.
5. Пат. 2379879 Российская Федерация, МПК А 01 G 7/00. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности / Евтюшкин А. В., Брыксин В. М., Рычкова Н. В.; патентообладатель Югор. науч.-исслед. ин-т информ. технологий, Департамент инвестиций, науки и технологий Ханты-Манс. авт. окр. – Югры. № 2007125088/12; заявл. 02.07.07; опубл. 27.01.10, Бюл. № 3. 19 с.
6. Application of GIS in precision agriculture / K. Sood, S. Singh, R. S. Rana, A. Rana, V. Kalia, A. Kaushal // National Seminar on “Precision Farming technologies for high Himalayas” / Precision farming development centre, High Mountain Arid Agriculture Research Institute, Leh, Ladakh, Jammu and Kashmir, India. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.2221.3368.
7. A bibliometric visualization review of the MODIS LAI/FPAR products from 1995 to 2020 / K. Yan, D. Zou, G. Yan, H. Fang, M. Weiss, M. Rautiainen, Y. Knyazikhin, R. B. Myneni // AAS Journal of Remote Sensing. 2021. Article ID: 7410921. 20 p. <https://doi.org/10.34133/2021/7410921>.
8. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, С. А. Лежнин, А. В. Губаев, Ю. А. Полевщикова. Йошкар-Ола: Поволж. гос. технол. ун-т, 2015. 132 с.

9. Galvao L. S., Pizarro M. A., Epiphanyo J. C. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data // *Remote Sensing of Environment*. 2001. № 75. P. 245–255. DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00170-X.

10. Генин В. А. Методические подходы к картографированию содержания гумуса по данным дистанционного зондирования Земли // *Почвоведение и агрохимия*. 2018. № 2(61). С. 32–42.

11. Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли / В. А. Малышевский, Ю. П. Федулов, Н. В. Островский, И. А. Лебедевский // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. 2013. № 92(08). С. 112–115. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/44.pdf> (дата обращения: 15.02.2022).

12. Связь между содержанием гумуса в пахотном горизонте серой лесной почвы и яркостью в красном канале спутникового изображения / Д. Г. Кротов, В. П. Самсонова, Е. А. Кротова, Е. Ю. Лавринова // *Агрохимический вестник*. 2017. № 1. С. 11–14.

13. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: A review / L. Moslem, A. Hosein, S. Bahrami, A. Kazem // *Precision Agriculture*. 2009. № 11. P. 82–99. DOI: 10.1007/s11119-009-9123-3.

14. Оперативный анализ запасов влаги в почве по Европейской территории РФ по данным спутниковых и наземных измерений для АПК [Электронный ресурс] / В. А. Гордин, Ф. Л. Быков, Е. В. Василенко, Л. Л. Тарасова // *Агротех-2019. Шаги за горизонт*. URL: https://cs.hse.ru/data/2019/11/29/1519244849/19_05_30_Gordin.pdf (дата обращения: 15.02.2022).

15. Музалевский К. В., Михайлов М. И. Измерение влажности и температуры почвы на основе интерференционного приема линейно-поляризованных сигналов ГЛОНАСС и GPS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15, № 4. С. 155–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-155-165.

16. Обзор основных методов и способов оценки нарушенных земель сельскохозяйственного назначения с использованием данных дистанционного зондирования: науч. аналит. обзор / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева, М. А. Ляшков, А. О. Матвиенко, Ю. Ю. Глущенко. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. 65 с.

17. Создание базы геоданных мелиоративных систем Калининградской области / К. С. Алсынбаев, В. М. Брыксин, Л. Ф. Жегалина, А. В. Козлов, И. В. Назаров // *Интер-Карто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы междунар. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2020. Т. 26, ч. 3. С. 184–198. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-3-26-184-198>.*

18. Карпова Л. А. Обзор российского и зарубежного опыта применения данных дистанционного зондирования для устойчивого развития сельскохозяйственных территорий // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016: XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апр. 2016 г., Новосибирск: Магист. науч. сес. «Первые шаги в науке»: сб. материалов. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 148–151.*

19. О региональной информационной системе «Геоинформационная система Ростовской области» [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рост. обл. от 22 июня 2017 г. № 462. URL: <https://minsvyaz.donland.ru/documents/active/153/> (дата обращения: 15.02.2022).

20. ГИС СХ Ростовской области [Электронный ресурс]. URL: <https://gisshroft.datum-group.ru/#main> (дата обращения: 15.02.2022).

References

1. Glazyrin V.V., Zavarzin A.V., Zamay S.S., Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Lur'ye I.K., Okhonin V.A., Pyr'yev V.I., Ryl'skiy I.A., Semin V.I., Serapinas B.B., Si-

monov A.V., Tikunov V.S., Trofimov A.M., Fleys M.E., Yakubaylik O.E., Yarovykh V.B., 2005. *Geoinformatika: uchebnik dlya studentov vuzov* [Geoinformatics: Textbook]. Moscow, Academy Publ., 480 p. (In Russian).

2. Tsipileva T.A., 2004. *Geoinformatsionnye sistemy: uchebnoe posobie* [Geoinformation Systems: textbook]. Tomsk, Tomsk Interuniversity Center for Distance Education, 162 p. (In Russian).

3. Zhukovsky O.I., 2014. *Geoinformatsionnye sistemy: uchebnoe posobie* [Geoinformation Systems: textbook]. Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, El Content Publ., 130 p. (In Russian).

4. Bryksin V.M., Evtyushkin A.V., 2007. *Ispol'zovanie modeli bioproduktivnosti EPIC i kosmosnimkov MODIS dlya prognozirovaniya urozhaynosti zernovykh kul'tur* [Using the EPIC bioproductivity model and MODIS satellite images to predict crop yields]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], no. 2(4), pp. 189-196. (In Russian).

5. Evtyushkin A.V., Bryksin V.M., Rychkova N.V., 2010. *Spособ prognozirovaniya urozhaynosti zernovykh kul'tur na osnove dannykh kosmicheskogo monitoringa i modelirovaniya bioproduktivnosti* [A method for predicting crop yields based on space monitoring data and bioproductivity modeling]. Patent of the RF, no. 2379879, 19 p. (In Russian).

6. Sood K., Singh S., Rana R.S., Rana A., Kalia V., Kaushal A., 2015. Application of GIS in precision agriculture. National Seminar on “Precision Farming technologies for high Himalayas”. Precision farming development centre, High Mountain Arid Agriculture Research Institute, Leh, Ladakh, Jammu and Kashmir, India, DOI: 10.13140/RG.2.1.2221.3368.

7. Yan K., Zou D., Yan G., Fang H., Weiss M., Rautiainen M., Knyazikhin Y., Myneni R.B., 2021. A bibliometric visualization review of the MODIS LAI/FPAR products from 1995 to 2020. *AAS Journal of Remote Sensing*, article ID: 7410921, 20 p., <https://doi.org/10.34133/2021/7410921>.

8. Kurbanov E.A., Vorob'yev O.N., Lezhnin S.A., Gubaev A.V., Polevshchikova Yu.A., 2015. *Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validatsiya i otsenka tochnosti: monografiya* [Thematic Mapping of Vegetation Cover from Satellite Images: Validation and Accuracy Assessment: monograph]. Yoshkar-Ola, Volga State Technological University Publ., 132 p. (In Russian).

9. Galvao L.S., Pizarro M.A., Epiphany J.C., 2001. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, no. 75, pp. 245-255, DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00170-X.

10. Genin V.A., 2018. *Metodicheskie podkhody k kartografirovaniyu sodержaniya gumusa po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Methodological approaches to mapping the humus content using remote sensing data of the Earth]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], no. 2(61), pp. 32-42. (In Russian).

11. Malyshevsky V.A., Fedulov Yu.P., Ostrovsky N.V., Lebedovsky I.A., 2013. [Humus content calculation method using remote sensing data of the Earth]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematicheskii setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 92(08), pp. 112-115, available: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/44.pdf> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

12. Krotov D.G., Samsonova V.P., Krotova E.A., Lavrinova E.Yu., 2017. *Svyaz' mezhdu sodержaniem gumusa v pakhotnom gorizonte seroy lesnoy pochvy i yarkost'yu v krasnom kanale sputnikovogo izobrazheniya* [Relationship between humus content in arable horizon of gray forest soil and brightness in the red channel of satellite image]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin], vol. 1, no. 1, pp. 11-14. (In Russian).

13. Moslem L., Hosein A., Bahrami S., Kazem A., 2009. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: A review. *Precision Agriculture*, no. 11, pp. 82-99, DOI: 10.1007/s11119-009-9123-3.

14. Gordin V.A., Bykov F.L., Vasilenko E.V., Tarasova L.L., 2019. *Operativnyy analiz zapasov vlagi v pochve po Evropeyskoy territoriy RF po dannym sputnikovykh i nazemnykh izmereniy dlya APK* [Operational analysis of soil moisture reserves in the European territory of the Russian Federation according to satellite and ground-based measurements for the agro-industrial complex]. *Agrotekh-2019. Shagi za gorizont* [Agrotech-2019. Steps beyond the Horizon], available: https://cs.hse.ru/data/2019/11/29/1519244849/19_05_30_Gordin.pdf [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

15. Muzalevsky K.V., Mikhailov M.I., 2018. *Izmerenie vlazhnosti i temperatury pochvy na osnove interferentsionnogo priyoma lineynno-polyarizovannykh signalov GLONASS i GPS* [Measurement of soil moisture and temperature based on interference reception of linearly polarized GLONASS and GPS signals]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], vol. 15, no. 4, pp. 155-165, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-155-165. (In Russian).

16. Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., Mityaeva L.A., Lyashkov M.A., Matvienko A.O., Glushchenko Yu.Yu., 2018. *Obzor osnovnykh metodov i sposobov otsenki narushennykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya (nauchnyy analiticheskiy obzor)* [Review of Main Methods and Methods for Assessing Disturbed Agricultural Land Using Remote Sensing Data (Scientific Analytical Review)]. Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, 65 p. (In Russian).

17. Alsynbaev K.S., Bryksin V.M., Zhegalina L.F., Kozlov A.V., Nazarov I.V., 2020. *Sozdanie bazy geodannykh meliorativnykh sistem Kaliningradskoy oblasti* [Creating geodatabase of reclamation systems of Kaliningrad region]. *InterCarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territoriy: materialy mezhdunar. konf.* [InterCarto. InterGIS. GI Support of Sustainable Development of Territories: Proc. of the International Conference]. Moscow, Moscow University Press, vol. 26, no. 3, pp. 184-198, <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-3-26-184-198>. (In Russian).

18. Karpova L.A., 2016. *Obzor rossiyskogo i zarubezhnogo opyta primeneniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya ustoychivogo razvitiya sel'skokhozyaystvennykh territoriy* [Review of Russian and foreign experience in application of remote sensing data for the sustainable development of agricultural areas]. *Interexpo GEO-Sibir'-2016: XII Mezhdunar. nauch. kongr., 18–22 apr. 2016 g., Novosibirsk: Magist. nauch. ses. "Pervye shagi v nauke": sb. materialov* [Interexpo Geosiberia-2016: XII International Scientific Congress, April 18-22, 2016, Novosibirsk: Master's scientific session "First Steps in Science": collection of materials]. Siberian State University of Geosystems and Technologies, pp. 148-151. (In Russian).

19. *O regional'noy informatsionnoy sisteme "Geoinformatsionnaya sistema Rostovskoy oblasti"* [On the Regional Information System "Geoinformation System of Rostov Region"]. Decree of the Government of Rostov region of 22 June, 2017, no. 462, available: <https://minsvyaz.donland.ru/documents/active/153/> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

20. *GIS SKH Rostovskoy oblasti* [GIS of Agricultural sector of Rostov region], available: <https://gisshrofront.datum-group.ru/#main> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент.

Information about the author

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 16.03.2022; принята к публикации 23.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 16.03.2022; accepted for publication 23.03.2022.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

RECLAMATION AND LAND CONSERVATION

Научная статья

УДК 626.82:626.86

К вопросу разработки типового модуля осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов

Антон Леонидович Кожанов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, KozhanovAnton1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

Аннотация. **Цель:** разработка типового модуля совмещенной осушительно-увлажнительной системы для шести- и восьмипольного севооборота с возможностью применения в его составе типовых элементов системы. **Материалы и методы.** Объектом исследований являлась совмещенная осушительно-увлажнительная система двойного регулирования водного режима для отвода и подачи водных ресурсов при осушении и увлажнении мелиорируемых земель. При проведении исследований осуществлялся сбор, анализ известных конструктивных решений осушительно-увлажнительных систем, разработанных известными учеными-мелиораторами. Анализировались существующие типовые решения сооружений и элементов мелиоративных систем. При разработке типового модуля осушительно-увлажнительной системы использовался метод конструирования. **Результаты.** В состав разработанных типовых модулей осушительно-увлажнительных систем с максимальным использованием водных ресурсов входят закрытые коллекторы различных порядков, магистральные осушительно-увлажнительные трубопроводы, вспомогательные сооружения и элементы и обязательно регулирующие емкости. Разработанный типовой модуль для шестипольного севооборота площадью 360 га включает шесть полей общей площадью 344 га и регулируемую емкость 16 га, восьмипольный площадью 270 га включает восемь полей площадью 258 га и регулируемую емкость 12 га. Модули включают в себя такие типовые элементы, как переезды, концевые сбросы, колодцы и др. **Выводы.** Разработанные типовые модули позволяют увеличить степень использования дренажного стока с аккумуляцией его в регулирующих емкостях, а также применять в своем составе типовые конструктивные решения сооружений и элементов для облегчения процесса проектирования осушительно-увлажнительных систем. Предложенные типовые модули осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов позволяют создавать осушительные системы двойного регулирования на любой мелиорируемой площади за счет использования определенного количества модулей.

Ключевые слова: типовой модуль, осушительно-увлажнительная система, типовые сооружения, осушительная сеть, увлажнительная сеть, совмещенная осушительно-увлажнительная сеть

Original article

On issue of developing a standard module for drainage and humidification systems with maximum use of water resources

Anton L. Kozhanov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,

Russian Federation, KozhanovAnton1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

Abstract. Purpose: development of a standard module of a combined drainage and humidification system for a six- and eight-field crop rotation with the possibility of using standard system components in its composition. **Materials and methods.** The object of research was a combined drainage and humidification system of dual regulation of water regime for withdrawal and supply of water resources during drainage and humidification of reclaimed lands. During the research, collection and analysis of well-known construction solutions for drainage and humidification systems developed by well-known reclamation scientists were carried out. Existing standard solutions for structures and elements of reclamation systems were analyzed. When developing a standard module of drainage and humidification system, the design method was used. **Results.** The developed standard modules of drainage and humidification systems with the maximum use of water resources include closed collectors of various orders, main drainage and humidification pipelines, auxiliary structures and elements, and obligatory regulating storages. The developed standard module for a six-field crop rotation with an area of 360 ha includes six fields with a total area of 344 ha and a regulating capacity of 16 ha, an eight-field crop rotation with an area of 270 ha includes eight fields with an area of 258 ha and a regulating capacity of 12 ha. Modules include such standard elements as crossings, end discharges, wells, etc. **Conclusions.** The developed standard modules make it possible to increase the degree of use of drainage runoff with its accumulation in regulating storages, as well as to use in its composition standard design solutions for structures and elements to facilitate the design process of drainage and humidification systems. The proposed standard modules of the drainage and humidification system with the maximum water resources use allow creating dual control drainage systems on any reclaimed area by using a certain number of modules.

Keywords: standard module, drainage and humidification system, standard facilities, drainage network, humidification network, combined drainage and humidification network

Введение. Осушительные системы в Российской Федерации в настоящее время в большинстве случаев находятся в неудовлетворительном состоянии, что в будущем потребует проведения большого объема капитальных ремонтов, реконструкции и модернизации [1–3]. В свою очередь, изменение климатических характеристик в большинстве регионов страны привело к тому, что на осушенных землях в гумидных зонах Российской Федерации помимо осушения требуется проведение увлажнительных мелиораций в засушливые периоды за счет использования накопленного дренажного стока. Вопросами рециклинга дренажного стока занимаются не только в России, но и в других странах для экономии водных ресурсов [4]. Складывающаяся ситуация позволяет сделать вывод о том, что в современных реалиях необходимо создание современных совмещенных осушительно-увлажнительных систем [5–9].

В рамках реализации мероприятий Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, в частности реализации задачи по разработке инновационных технологий строительства и реконструкции мелиоративных систем, возросла актуальность широкого применения и закрепления в документах, обладающих соответствующим правовым статусом, проектных решений, используемых в стандартных ситуациях и применяемых многократно, в т. ч. повторно [10], которыми могут выступать типовые конструктивные элементы осушительно-увлажнительной системы. Поэтому при создании современных осушительно-увлажнительных систем необходимо

ориентироваться на блочно-модульные принципы с накоплением дренажного стока в регулирующих емкостях для увлажнения мобильными дождевальными машинами или установками, а также применение типовых конструктивных элементов в составе осушительно-увлажнительных систем [11, 12].

В связи с этим целью настоящей работы является разработка типового модуля совмещенной осушительно-увлажнительной системы для шести- и восьмипольного севооборота с возможностью применения в его составе типовых элементов системы.

Материалы и методы. Объектом исследований являлась совмещенная осушительно-увлажнительная система двойного регулирования водного режима для отвода и подачи водных ресурсов при осушении и увлажнении мелиорируемых земель. При проведении исследований осуществлялся сбор, анализ известных конструктивных решений гидромелиоративных, водооборотных, осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем двойного регулирования водного режима почв, разработанных такими учеными-мелиораторами, как П. И. Пыленок, А. И. Мурашко, Б. С. Маслов, К. Б. Шумакова, Ю. А. Мажайский, В. И. Ольгаренко, Н. Д. Станкевич и др. Анализируются применяемые для орошения шланго-барабанные дождевальные машины, передвижные насосные станции (ПНС), а также существующие типовые решения сооружений и элементов мелиоративных систем. В ходе анализа применялись аналитический, сравнительный и логический методы. При разработке типового модуля осушительно-увлажнительной системы использовался метод конструирования.

Результаты и обсуждения. При создании модульных систем двойного регулирования водного режима почв необходимо ориентироваться на мобильные средства для увлажнения осушенных земель, к которым относятся насосные станции и дождевальные установки. Так, к наиболее мобильным дождевальным установкам можно отнести шланго-барабанные дождевальные машины в комплексе с ПНС.

В состав совмещенной осушительно-увлажнительной сети в конструктивных решениях осушительно-увлажнительных систем с максимальным использованием водных ресурсов входят закрытые коллекторы различных порядков, магистральные осушительно-увлажнительные трубопроводы, регулирующие емкости, вспомогательные сооружения и элементы.

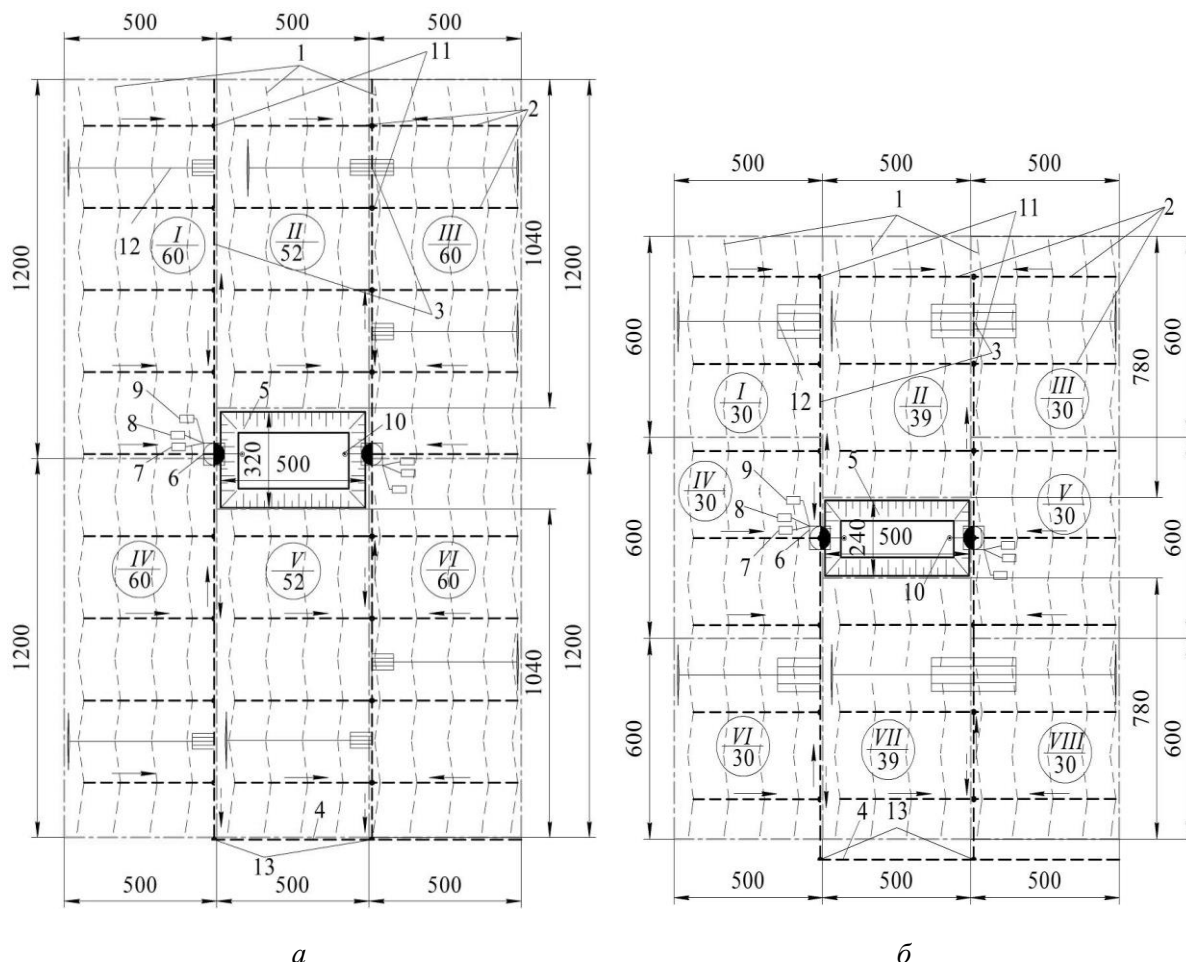
Основные параметры системы для каждого севооборотного участка (площади полей, модуля, количество дождевальных установок, ПНС, объемы регулирующих емкостей) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры предложенных модульных осушительно-увлажнительных систем

Table 1 – Parameters of the proposed module drainage and humidification systems

Количество полей в модуле	Площадь модуля, га	Площадь поля, га	Количество дождевальных установок, шт.	Количество ПНС/расход, шт./л/с	Площадь/объем регулирующей емкости, га/тыс. м ³
6	360	240	8	1/240	16/432
		104	4	1/120	
8	270	180	6	1/180	12/324
		78	3	1/90	

Основные размеры разработанного модуля шестипольной осушительно-увлажнительной системы приведены на рисунке 1а, восьмипольной – на рисунке 1б.



a – шестипольный севооборот; *б* – восьмипольный севооборот;

1 – дрены; 2 – дренажные коллекторы второго порядка; 3 – закрытые совмещенные дренажные коллекторы первого порядка; 4 – магистральный коллектор; 5 – регулирующая емкость; 6 – совмещенная насосная станция; 7 – центр управления; 8 – узел химизации; 9 – узел водоподготовки; 10 – водовыпуски; 11 – устьевые сооружения с обратными клапанами; 12 – дождевальные машины; 13 – задвижки; стрелками показано направление движения водных ресурсов: сплошной – отвод, штриховой – подача

Рисунок 1 – Типовые модули осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов

Figure 1 – Standard modules of drainage and humidification systems with maximum use of water resources

Рассматривая разработанные типовые модули осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов, можно выделить основные сооружения:

- переезды трубчатые на расход воды до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ для мелиоративных систем (осушительных), то же на расход воды до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ (с различными диаметрами труб);
- регуляторы трубчатые с переездом одностороннего действия на расход воды до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ для мелиоративных систем (осушительных), то же на расход воды до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ (с различными диаметрами труб);
- регуляторы трубчатые с переездом и перепадом одностороннего действия на расход воды до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ для мелиоративных систем (осушительных);
- колодцы на дренажной осушительной сети (соединительные, регуляторы с задвижками, поглотители, перепады);

- устья (устьевые сооружения) для сопряжения закрытых дрен (коллекторов) с открытым каналом;

- устья (устьевые сооружения) для сопряжения закрытых дрен (коллекторов) диаметром от 50 до 500 мм с закрытыми коллекторами диаметром от 90 до 1000 мм с обратными клапанами;

- водовыпуски из закрытых коллекторов диаметром от 90 до 1000 мм в регулируемую емкость (накопитель);

- концевые сбросы из трубопроводов.

Потребуются также:

- запорно-регулирующая арматура (задвижки) на диаметры от 90 до 1000 мм и предохранительная арматура (вантузы, сбросные клапаны) для тех же диаметров труб;

- регулирующая емкость – пруд-накопитель, бассейн регулирования или пруд (небольшое водохранилище) емкостью от 200 до 1000 тыс. м³ (0,2–1,0 млн м³);

- ПНС с забором воды из регулирующей емкости (пруд-накопитель, бассейн регулирования).

Согласно вышеприведенному перечню сооружений и элементов осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов были подобраны типовые решения концевого сброса из трубопровода без упора (различного диаметра в зависимости от расхода) из ТПР 820-2-035.92 «Промежуточные и концевые сбросы из трубопроводов на закрытой оросительной сети». Данный тип концевого сброса можно применять для сброса дренажного стока в регулируемую емкость, также возможно применять другие конструкции сбросов из трубопроводов (с упорами) из вышеприведенных типовых проектных решений.

Для использования в данной типовой схеме модульной осушительно-увлажнительной системы необходима запорно-регулирующая арматура, применяемая для регулирования водных потоков при осушении и увлажнении мелиорируемого массива, устанавливаемая в смотровых колодцах.

При использовании запорно-регулирующей арматуры, устанавливаемой в смотровых колодцах, предлагается применение типовых проектов шахтных колодцев (ТПР 820-4-032с.88 «Механизированные водоподъемные установки на шахтных колодцах и водозаборных скважинах», альбом 1 «Железобетонные шахтные колодцы»).

Возможно также применение типовых конструкций круглых колодцев – типовые конструкции и детали зданий и сооружений серии 3.820-9 «Унифицированные сборные железобетонные конструкции для водохозяйственного строительства» (серия 5 «Конструкции круглых колодцев», предназначенных для закрытой оросительной, дренажной и осушительной сети). В типовых решениях представлены кольца стеновые, плиты днища и плиты перекрытия, служащие для устройства колодцев, в которых устанавливается трубопроводная запорно-регулирующая арматура осушительной сети, а также колодцев, выполняющих функцию отстойников, перепадов, поглотителей на коллекторах закрытой осушительной сети. В составе альбома приведены чертежи элементов круглых колодцев в количестве 43 марок изделий, 15 марок стеновых изделий, семи марок стеновых колец с днищем, пяти марок стеновых колец с крышкой и др. Колодцы-гасители объемные из ТП 3.820-9 «Конструкции колодцев и устьев» (выпуск 3 «Колодцы-гасители объемные») можно применить для оборудования водовыпускных сооружений из закрытой сети в регулируемую емкость. Данные колодцы служат для гашения кинетической энергии воды при выпуске ее из трубопроводов.

Ввиду большого количества устьевых соединений, регулирующих узлов на осушительно-увлажнительной системе перспективным направлением является использование запорно-регулирующей арматуры, устанавливаемой бесколодезным способом

для уменьшения числа колодцев, это увеличивает коэффициент земельного использования и удобство применения различной сельскохозяйственной техники. Также основным преимуществом установки запорно-регулирующей арматуры бесколодезным способом является экономическая эффективность, подтверждаемая уже реализованными проектами систем мелиораций в Поволжье. Применение бесколодезного способа установки запорно-регулирующей арматуры соответствует требованиям нормативно-технической документации и имеет некоторые преимущества:

- задвижки и затворы не нуждаются в обслуживании;
- допускается эксплуатация в обводненных грунтах, что наиболее применимо для осушаемых массивов за счет наличия внешней антикоррозионной защиты и защиты редуктора;
- управляемые затвором элементы можно выносить в легкодоступный участок;
- защита внутреннего пространства от загрязнения за счет применения герметичной конструкции арматуры.

При бесколодезном способе монтажа запорно-регулирующая арматура монтируется на трубопровод, при этом на выходной шток устанавливается удлинитель штока, выводимый к поверхности и имеющий квадратный наконечник. Наконечник выводится в небольшой люк, расположенный вровень с поверхностью земли, либо над землей. Управление данной запорно-регулирующей арматурой возможно как при помощи Е-образного ключа, так и с применением электродвигателей при необходимости. Применение электродвигателей позволяет автоматизировать данный процесс. Пример бесколодезной установки приведен на рисунке 2.

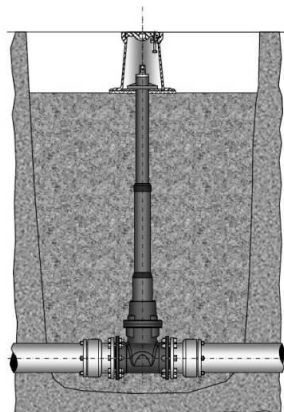


Рисунок 2 – Бесколодезная установка запорно-регулирующей арматуры

Figure 2 – Direct burying installation of on-off and control valves

Для подсоединения дрен к коллекторам необходимо использовать схему подключения, имеющую в своем составе обратные клапаны, позволяющие работать системе в двух режимах: осушение и увлажнение, данную схему также можно применять для подключения коллекторов второго порядка к коллекторам первого порядка.

Для устройства переездов при необходимости устройства нагорных или проводящих каналов в местах пересечения их дорогами на модульной осушительно-увлажнительной системе можно применять следующие типовые проектные решения: ТПР 820-1-0112.92 «Переезды трубчатые на расход воды до 10 м³/с на осушительных системах», ТПР 820-1-0111.92 «Переезды трубчатые на расход воды до 5,0 м³/с с облегченными оголовками на мелиоративных системах (с трубами 60, 80, 100 см)», зональные типовые материалы для проектирования 820-01-69.33.87 «Переезды трубчатые на расход воды до 5 м³/с на оросительной, осушительной и сбросной сети для Приморского края Дальнего Востока», ТПР 820-01-38.85 «Переезды трубчатые на расход воды

до 10 м³/с на осушительных системах», типовой проект 820-203 «Переезды на осушительных и оросительных системах» (выпуск 2 «Переезды и регуляторы-переезды трубчатые на расход воды от 7 до 20 м³/с на осушительных системах (из прямоугольных труб)»), ТП 820-1-5 «Переезды трубчатые на расход до 10 м³/с на оросительных системах». Возможно применение переездов трубчатых без регулятора одно- или двухнечных из круглых раструбных труб диаметрами 60, 80, 100, 120, 140 и 160 см согласно ТП 820-1-0112.92. Возможно использование также трубчатых переездов, водовыпусков-переездов и переездов устьевых согласно ТП 820-01-69.33.87. Также возможно применение переездов трубчатых с прямоугольными трубами для осушительных систем на расход воды от 7 до 20 м³/с согласно ТП 820-203.

При необходимости устройства осушительных каналов (нагорных, проводящих) и их крепления возможно применение типовой документации серии 3.820.1-69 «Элементы крепления осушительных каналов». Данные конструкции предназначены для крепления каналов осушительных систем плитами или лотками.

Выводы. В результате исследований разработаны типовые модули осушительно-увлажнительных систем с максимальным использованием водных ресурсов для шести- и восьмипольных севооборотов, которые позволяют увеличить степень использования дренажного стока с аккумуляцией его в регулирующих емкостях, а также применять в своем составе типовые конструктивные решения сооружений и элементов для облегчения процесса проектирования реконструкции осушительных систем и строительства новых осушительно-увлажнительных систем. Предложенные типовые модули осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием водных ресурсов позволяют создавать осушительные системы двойного регулирования водного режима на любой мелиорируемой площади за счет использования определенного количества модулей.

Список источников

1. Свитайло Л. В. Современное состояние мелиоративных систем // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: материалы науч.-практ. конф. Уссурийск, 2018. С. 139–147.
2. Экологическое состояние и реконструкция мелиоративных систем Рязанской области / П. Н. Ванюшин, А. В. Кузин, А. А. Павлов, А. В. Нефедов, Н. А. Иванникова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 33–37.
3. Рекомендации по реконструкции и модернизации мелиоративных систем (на примере Ростовской области) / А. А. Чураев, Ю. Ф. Снопич, Т. А. Погоров, А. Е. Шепелев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг, В. В. Митров; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 30 с.
4. Characteristics of drainage water quality and loading from paddy field under cyclic irrigation and its management option / N. Hatcho, K. Kurihara, Y. Matsuno, H. Horino // Journal of Water Resource and Protection. 2018. Vol. 10, № 1. P. 73–84. DOI: 10.4236/jwarp.2018.101005.
5. Кожанов А. Л., Воеводин О. В. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 91–98.
6. Яценко К. В., Килиди Х. И. Использование дренажного стока для целей орошения на осушительно-увлажнительной системе // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам X Всерос. конф. молодых ученых, посвящ. 120-летию И. С. Косенко. Краснодар, 2017. С. 1206–1207.
7. Кожанов А. Л. Конструктивные схемы энергосберегающих осушительных си-

стем двойного регулирования водного режима // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 27–34.

8. Возможности реализации рециклинга на осушительно-увлажнительных системах гумидной зоны / В. П. Максименко, Е. Б. Стрельбицкая, А. П. Соломина, Н. В. Айриян // Природообустройство. 2016. № 2. С. 87–94.

9. Губин В. К., Максименко В. П., Храбров М. Ю. Пути совершенствования осушительно-увлажнительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 1. С. 32–36.

10. О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 14 мая 2021 г. № 731. URL: <http://static.government.ru/media/files/H0r3EQe7gpGEJvEtfAClXtnJ4gt6Xpr2.pdf> (дата обращения: 10.02.2022).

11. Кожанов А. Л. Моделирование процесса компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 24–31.

12. Воеводин О. В., Кириленко А. А. Блочно-модульный принцип построения в контексте актуальности воспроизводства парка мелиоративных насосных станций // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 3(83). С. 35–40.

References

1. Svitailo L.V., 2018. *Sovremennoe sostoyanie meliorativnykh sistem* [The current state of reclamation systems]. *Rol' agrarnoy nauki v razvitii lesnogo i sel'skogo khozyaystva Dal'nego Vostoka: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The Role of Agrarian Science in the Development of Forestry and Agriculture in the Far East: Proc. of Scientific and Practical Conference]. Ussuriysk, pp. 139-147. (In Russian).

2. Vanyushin P.N., Kuzin A.V., Pavlov A.A., Nefedov A.V., Ivannikova N.A., 2019. *Ekologicheskoe sostoyanie i rekonstruktsiya meliorativnykh sistem Ryazanskoy oblasti* [Ecological status and reconstruction of reclamation systems in Ryazan region]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 33-37. (In Russian).

3. Churaev A.A., Snipich Yu.F., Pogorov T.A., Shepelev A.E., Yuchenko L.V., Weinberg M.V., Mitrov V.V., 2015. *Rekomendatsii po rekonstruktsii i modernizatsii meliorativnykh sistem (na primere Rostovskoy oblasti)* [Recommendations for Reconstruction and Modernization of Reclamation Systems (on the example of Rostov region)]. Novocherkassk, 30 p. (In Russian).

4. Hacho N., Kurihara K., Matsuno Y., Horino H., 2018. Characteristics of drainage water quality and loading from paddy field under cyclic irrigation and its management option. *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 10, no. 1, pp. 73-84, DOI: 10.4236/jwarp.2018.101005.

5. Kozhanov A.L., Voevodin O.V., 2018. *Analiz konstruktsiy meliorativnykh sistem dvustoronnego deystviya i osnovnye puti sovershenstvovaniya* [Analysis of bilateral reclamation systems constructions and main ways of improvement]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 91-98. (In Russian).

6. Yashchenko K.V., Kilidi Kh.I., 2017. *Ispol'zovanie drenazhnogo stoka dlya tseyey orosheniya na osushitel'no-uvlazhnitel'noy sisteme* [The use of drainage runoff for irrigation purposes on the drainage-irrigation system]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. st. po materialam X Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyash-*

chennoy 120-letiyu I. S. Kosenko [Scientific Support of Agro-industrial Complex: Proc. of X All-Russian Conference of Young Scientists Dedicated to 120th Anniversary of I.S. Kosenko]. Krasnodar, pp. 1206-1207. (In Russian).

7. Kozhanov A.L., 2019. *Konstruktivnye skhemy energosberegayushchikh osushitel'nykh sistem dvoynogo regulirovaniya vodnogo rezhima* [Constructive schemes of energy-saving drainage systems for dual regulation of water regime]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(73), pp. 27-34. (In Russian).

8. Maksimenko V.P., Strelbitskaya E.B., Solomina A.P., Ayriyan N.V., 2016. *Vozmozhnosti realizatsii retsiklinga na osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistemakh gumidnoy zony* [Possibility of implementation of recycling on drainage-humidification systems of the humid zone]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 87-94. (In Russian).

9. Gubin V.K., Maksimenko V.P., Khrabrov M.Yu., 2016. *Puti sovershenstvovaniya osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistem* [Ways to improve the drainage and humidification systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 1, pp. 32-36. (In Russian).

10. *O Gosudarstvennoy programme effektivnogo vovlecheniya v oborot zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [On State program for effective involvement of agricultural land in circulation and the development of the reclamation complex of the Russian Federation]. Decree of the Government of RF of 14 May, 2021, no. 731, available: <http://static.government.ru/media/files/H0r3EQe7gpGEJvEtfAClXtnJ4gt6Xpr2.pdf> [accessed 10.02.2022]. (In Russian).

11. Kozhanov A.L., 2018. *Modelirovanie protsessa komponovki funktsional'nykh moduley osushitel'noy sistemy dvustoronnego deystviya* [Modeling the layout process of functional modules of a bilateral drainage system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 24-31. (In Russian).

12. Voevodin O.V., Kirilenko A.A., 2021. *Blochno-modul'nyy printsip postroeniya v kontekste aktual'nosti vosproizvodstva parka meliorativnykh nasosnykh stantsiy* [Modular-assembly principle of constructing reclamation pumping stations park in context of relevance of its reproduction]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(83), pp. 35-40. (In Russian).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 09.03.2022; принята к публикации 15.03.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 09.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF RECLAMATION SYSTEMS

Научная статья
УДК 631.674.6

Количество и расстановка капельных водовыпусков при орошении плодовых садов

Андрей Сергеевич Штанько

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Аннотация. Цель: аналитическое исследование параметров капельной поливной сети плодовых садов и определение необходимого количества капельниц для полива одного дерева. **Материалы и методы.** В качестве критерия, определяющего необходимое количество капельниц для орошения зоны питания каждого дерева в саду, было принято обеспечение поливной сетью требуемого коэффициента увлажнения площади питания одного дерева, значения которого для различных климатических условий предложены О. Е. Ясонида. **Результаты.** В процессе аналитического исследования была рассмотрена зависимость для определения коэффициента увлажнения площади питания одного дерева в саду, который прямо пропорционален площади зоны увлажнения и обратно пропорционален площади зоны питания растения. Площадь зоны питания определяется схемой посадки культур, а площадь зоны увлажнения равна результату умножения площади горизонтальной проекции зоны капельного увлажнения почвы, формируемой одной капельницей, на количество капельниц. Площадь горизонтальной проекции зоны увлажнения почвы определена по зависимости для площади круга, в которой радиус горизонтальной проекции зоны увлажнения определен по эмпирической зависимости, полученной на предшествующих этапах исследования и учитывающей почвенные характеристики садового участка, выраженные содержанием в почве глинистых частиц и наименьшей влагоемкостью почвы. В результате получена зависимость, связывающая все рассмотренные параметры, в т. ч. и количество капельных водовыпусков. **Выводы.** Предложена зависимость для определения количества капельных водовыпусков, располагаемых в зоне питания каждого дерева плодового сада и обеспечивающих увлажнение требуемой доли площади зоны его питания. При этом учитываются следующие условия проведения полива: вид культуры и природно-климатическая зона ее возделывания, схема расстановки деревьев, почвенные условия садового участка и необходимая глубина зоны увлажнения почвы.

Ключевые слова: капельное орошение, плодовый сад, схема посадки, площадь питания, зона капельного увлажнения, коэффициент увлажнения

Original article

The number and arrangement of drip
emitters by irrigating orchards

Andrey S. Shtanko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Abstract. Purpose: analytical study of parameters of drip irrigation network of orchards and determination of the required number of emitters for watering one tree. **Materials and methods.** The irrigation network providing the required moisture coefficient for feed zone of one tree was set up as a criterion determining the required number of emitters for irrigating the feed zone of each tree in the garden, the values of which for various climatic conditions were proposed by O. E. Yasonidi. **Results.** In the course of the analytical study, a dependence for determining the moisture coefficient of the feed zone of one tree in the garden, which is directly proportional to the area of the moisture zone and inversely proportional to the plant feed zone was considered. The area of the feed zone is determined by the crop planting pattern, and the area of the moisture zone is equal to the result of multiplying the area of the horizontal projection of the soil drip moistening zone formed by one emitter by the number of emitters. The area of the horizontal projection of the soil moisture zone was determined from the dependence for the area of the circle, in which the radius of the horizontal projection of the moisture zone was determined from the empirical dependence obtained at the previous stages of research and taking into account the soil characteristics of the garden plot, expressed by the content of clay particles in soil and the least soil moisture content. As a result, a dependence that connects all the considered parameters, including the number of drip emitters was obtained. **Conclusions.** A dependence is proposed to determine the number of drip emitters located in the feed zone of each tree in the orchard and providing moistening of the required proportion of the area of its feed zone. In this case, the following conditions for irrigation are taken into account: crop species and the natural and climatic zone of its cultivation, the arrangement of trees, the soil conditions of the garden plot and the required depth of the soil moisture zone.

Keywords: drip irrigation, orchard, planting scheme, feed zone, drip humidification zone, moisture coefficient

Введение. Технология капельного орошения нашла широкое применение в практике возделывания древесных плодовых культур в садах. Основными достоинствами этого способа полива являются технологичность, возможность полной автоматизации процесса полива, точность внесения поливной нормы и растворенных в оросительной воде удобрений и ряд других [1]. Однако при поливе древесных плодовых культур с развитой корневой системой и относительно большой площадью питания (от 2 до 10 м² и более), отведенной каждому растению в саду, возникает необходимость определения требуемого для орошения каждого дерева количества капельных микроводовыпусков, обеспечивающих формирование зон увлажнения почвы с геометрическими и влажностными параметрами, соответствующими требованиям выращиваемых культур [2]. В связи с этим целью данной работы является аналитическое исследование параметров капельной поливной сети плодовых садов и определение необходимого количества капельниц для капельного полива одного дерева.

Материалы и методы. В качестве критерия, определяющего необходимое количество капельниц для орошения зоны питания одного дерева в саду, было принято обеспечение поливной сетью требуемого коэффициента увлажнения площади питания каждого дерева в плодовом саду. Исследованиями О. Е. Ясониди [3] установлено, что данный коэффициент зависит от вида культуры и климатических условий и может иметь значение от 0,1 до 0,5. В процессе аналитического исследования было произведено математическое преобразование зависимости для определения коэффициента

увлажнения площади питания одного дерева в саду, который прямо пропорционален площади зоны увлажнения и обратно пропорционален площади зоны питания растения.

Результаты и обсуждение. Схема посадки древесных плодовых культур в саду характеризуется двумя основными показателями: расстоянием между рядами растений $L_{м/р}$, м, и расстоянием между деревьями в ряду $L_{м/д}$, м. Значения этих показателей зависят от фенологических особенностей выращиваемой культуры, климатических условий региона возделывания, почвенных условий участка, ориентации сада относительно сторон света, используемых в саду сельскохозяйственных машин и механизмов и ряда других факторов. В данном исследовании в качестве базовых характеристик схем расстановки деревьев в саду принимаем $L_{м/р}$ и $L_{м/д}$ без учета перечисленных факторов, оказывающих влияние на расстановку деревьев в саду. Элементы схемы расстановки деревьев в плодовом саду и их основные параметры приведены на рисунке 1.

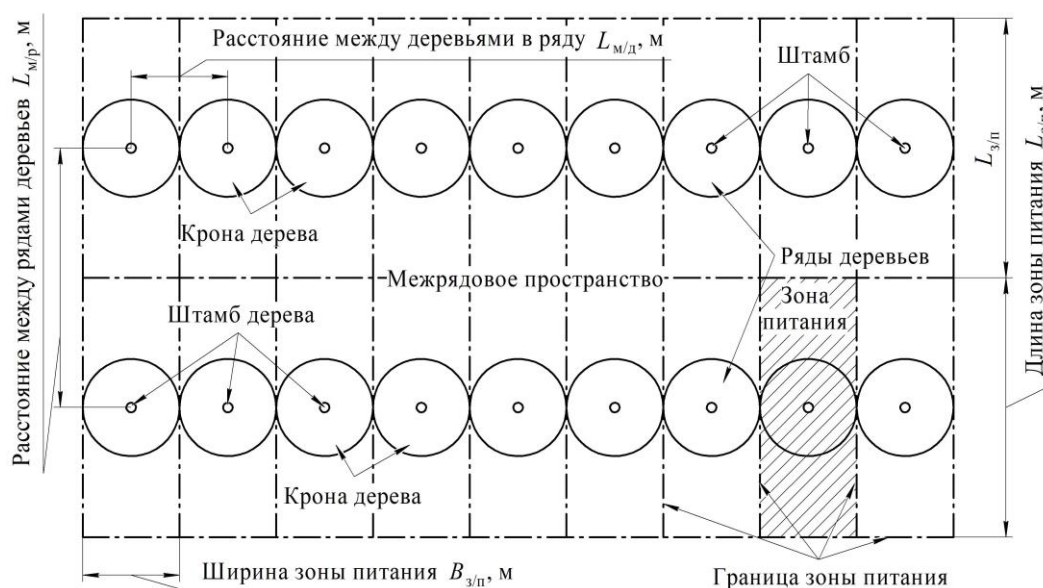


Рисунок 1 – Основные параметры схемы расстановки деревьев в плодовом саду

Figure 1 – The main parameters of tree arrangement scheme in the orchard

В соответствии с рисунком 1 зона питания, отведенная каждому растению в плодовом саду, представляет собой прямоугольник, а ее площадь $S_{пит}$, м², равна результату умножения ширины зоны питания $B_{з/п}$ на ее длину $L_{з/п}$, которые в свою очередь соответствуют расстоянию между деревьями в ряду $L_{м/д}$ и расстоянию между рядами деревьев $L_{м/р}$. Следовательно, площадь зоны питания каждого дерева в саду составит:

$$S_{пит} = L_{м/д} \cdot L_{м/р}. \quad (1)$$

Предполагаем, что после вступления плодовых культур в полное плодоношение их корневая система осваивает всю площадь питания, отведенную ей в соответствии со схемой расстановки деревьев в саду.

Для проведения эффективного капельного полива плодовых культур необходимо знать, какая доля площади зоны питания каждого дерева требует увлажнения. Например, О. Е. Ясонида установил, что необходимая доля увлажняемой площади от площади зоны питания при капельном орошении зависит от вида возделываемой культуры и климатических условий региона возделывания и может составлять от 10 % для относительно влагообеспеченных регионов до 50 % для засушливых [3]. Данный показатель (коэффициент увлажнения зоны питания культуры $k_{увл}$) представляет собой

соотношение площади $S_{\text{увл}}$, м, увлажняемой капельными водовыпусками, и площади зоны питания для каждого отдельного плодового дерева:

$$k_{\text{увл}} = S_{\text{увл}} / S_{\text{пит}}. \quad (2)$$

В капельном орошении площадь увлажнения соответствует сумме горизонтальных проекций зон увлажнения почвы, формируемых капельными водовыпусками, расположенными в зоне питания растений, и может быть определена по зависимости:

$$S_{\text{увл}} = n \cdot S_{\text{кон}}, \quad (3)$$

где n – количество капельных водовыпусков в зоне питания одного дерева, шт.;

$S_{\text{кон}}$ – площадь горизонтальной проекции локальной зоны увлажнения почвы, формируемой одной капельницей, м².

В связи с тем, что горизонтальная проекция зоны капельного увлажнения почвы, формируемой одной капельницей, представляет собой окружность или очень близкую к ней фигуру, определяем $S_{\text{кон}}$ с использованием зависимости:

$$S_{\text{кон}} = \pi \cdot R_{\text{кон}}^2, \quad (4)$$

где π – математическая константа, $\pi = 3,14$;

$R_{\text{кон}}$ – радиус горизонтальной проекции контура увлажнения почвы, м.

В результате проведенных на предшествующих этапах исследований при участии автора были установлены закономерности формирования зон влажности в зависимости от почвенных и технологических условий проведения капельного полива сельскохозяйственных культур [4, 5]. В частности, получена многофакторная эмпирическая зависимость для определения радиуса локального контура увлажнения почвы [5]:

$$\begin{aligned} R_{\text{кон}} &= 0,25 \cdot h_{\text{кон}} \cdot [(0,52 + 0,009 \cdot W_{\text{г}}) + (0,073 + 0,038 \cdot W_{\text{НВ}})] = \\ &= 0,25 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,593 + 0,009 \cdot W_{\text{г}} + 0,038 \cdot W_{\text{НВ}}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $h_{\text{кон}}$ – глубина контура влажности почвы, принимается равной требуемой глубине увлажнения $h_{\text{кон}} = h_{\text{увл}}$, м;

$W_{\text{г}}$ – среднее содержание в метровом слое почвы глинистых частиц, измеряемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП);

$W_{\text{НВ}}$ – среднее по метровому слою почвы значение наименьшей влагоемкости почвы, % МСП.

Подставив выражения (1) и (3)–(5) в выражение (2), получим зависимость, которая отражает связь между всеми рассмотренными в данной работе показателями:

$$\begin{aligned} k_{\text{увл}} &= S_{\text{кон}} / S_{\text{пит}} = \frac{n \cdot \pi \cdot R_{\text{кон}}^2}{B_{\text{м/р}} \cdot L_{\text{м/д}}} = \\ &= \frac{n \cdot \pi \cdot [0,25 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,593 + 0,009 \cdot W_{\text{г}} + 0,038 \cdot W_{\text{НВ}})]^2}{L_{\text{м/д}} \cdot L_{\text{м/р}}}. \end{aligned}$$

Выразив через полученную зависимость искомую величину количества капельных водовыпусков n , получим:

$$n = \frac{L_{\text{м/д}} \cdot L_{\text{м/р}} \cdot k_{\text{увл}}}{\pi \cdot [0,25 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,593 + 0,009 \cdot W_{\text{г}} + 0,038 \cdot W_{\text{НВ}})]^2}. \quad (6)$$

Предложенная зависимость (6) позволяет определить необходимое количество капельных водовыпусков для орошения одного плодового дерева в саду с учетом: применяемой схемы посадки; требуемого коэффициента увлажнения зоны питания; глуби-

ны формируемой локальной зоны увлажнения почвы, которая равна требуемой глубине увлажнения $h_{\text{кон}} = h_{\text{увл}}$; почвенных условий садового участка.

Полученное в результате расчета по зависимости (6) количество капельных водовыпусков для полива одного дерева в плодовом саду необходимо округлить до целого четного числа и получить уточненное количество капельниц на одно дерево n' , шт. Применение четного количества капельниц обосновывается необходимостью соблюдения требования о минимальном расстоянии от капельницы до штамба древесного растения, которое по требованиям, приведенным в пособии к СНиП 2.06.03-85 [6], должно быть не менее 0,2 м. При нечетном количестве капельниц при размещении их в один ряд (однорядный поливной модуль) одна из капельниц окажется в центре зоны питания, т. е. в непосредственной близости от штамба дерева. При размещении капельниц в два ряда (двухрядный поливной модуль) также необходимо четное количество капельниц для полива каждого дерева в плодовом саду для равномерного распределения капельниц между двумя капельными линиями. Применение трех капельных линий для полива одного ряда растений (трехрядный поливной модуль) также возможно при соответствующем обосновании. В этом случае уточненное количество капельниц на одно дерево n' подбирается индивидуально, так как количество капельниц на центральной поливной линии может отличаться от крайних линий.

Далее проверяем возможность размещения требуемого количества капельниц в зоне питания. Если выполняется условие:

$$n' \cdot 2 \cdot R_{\text{кон}} \leq L_{\text{м/р}}, \quad (7)$$

то размещаем капельницы в один ряд (применяем однорядный поливной модуль). Если не выполняется, то проверяем возможность устройства двухрядного поливного модуля путем проверки условия:

$$n' \cdot R_{\text{кон}} \leq L_{\text{м/р}}. \quad (8)$$

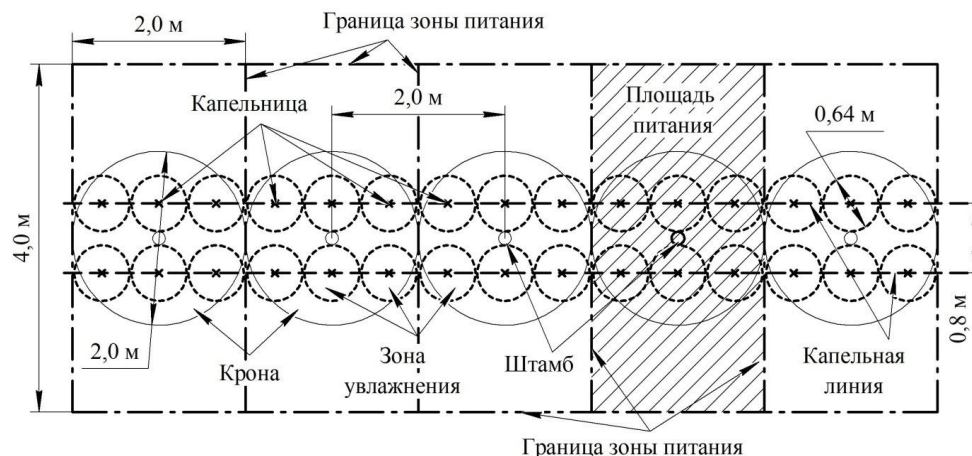
Если условия (7) и (8) не выполняются, то рассматривается возможность устройства трехрядного поливного модуля или размещения капельных водовыпусков на отводах от поливной линии.

С целью проверки работоспособности предложенной зависимости (6) проведем расчет необходимого количества капельных водовыпусков на примере яблоневого плодового сада со следующими характеристиками. Плодовые деревья в саду расположены по схеме $2,0 \times 4,0$ м. Требуемый коэффициент увлажнения зоны питания $k_{\text{увл}}$ составляет 0,24. Необходимая глубина увлажнения почвенного пространства $h_{\text{увл}}$ равна 0,8 м. Почвы садового участка представлены легкими суглинками с содержанием физической глины $W_{\text{г}} = 26,5$ % МСП и наименьшей влагоемкостью $W_{\text{НВ}} = 20,5$ % МСП. По зависимости (6) определим количество капельных водовыпусков, которые необходимо разместить в зоне питания каждого дерева:

$$\begin{aligned} n &= \frac{L_{\text{м/д}} \cdot L_{\text{м/р}} \cdot k_{\text{увл}}}{\pi \cdot [0,25 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,593 + 0,009 \cdot W_{\text{г}} + 0,038 \cdot W_{\text{НВ}})]^2} = \\ &= \frac{2,0 \cdot 4,0 \cdot 0,24}{3,14 \cdot [0,25 \cdot 0,8 \cdot (0,593 + 0,009 \cdot 26,5 + 0,038 \cdot 20,5)]^2} = \\ &= \frac{1,92}{3,14 \cdot [0,2 \cdot (0,593 + 0,239 + 0,779)]^2} = \frac{1,92}{3,14 \cdot 0,103} = 5,94 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Полученное значение округляем и получаем $n' = 6$ шт. Следовательно, в рассмотренных условиях в зоне питания каждого дерева в саду необходимо разместить

шесть капельных водовыпусков. Проверая выполнение условий (7) и (8), определяем тип применяемого поливного модуля. В нашем случае выполняется условие (8): $6 \cdot 0,32 \leq 2,0$, или $1,92 \leq 2,0$. Следовательно, в технологических, климатических и почвенных условиях рассмотренного в качестве примера плодового сада капельные водовыпуски необходимо разместить на двух капельных линиях (по три штуки на каждом). Поливной модуль для рассмотренного примера плодового сада приведен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Двухниточный поливной модуль системы
капельного орошения плодового сада**

**Picture 2 – Two-line irrigation module of the drip
irrigation scheme of the orchard**

Представленный на рисунке поливной модуль предназначен для полива плодовых культур со схемой посадки $2,0 \times 4,0$ м и включает две капельные линии, расположенные на расстоянии 0,4 м от оси ряда и 0,8 м между собой. Для полива каждого дерева предусмотрены шесть капельных водовыпусков (по три на каждой капельной линии), обеспечивающих увлажнение 24 % площади зоны питания каждого дерева в саду.

Выводы. При капельном поливе сельскохозяйственных культур с развитой корневой системой и площадью зоны питания более 2 м^2 , в частности древесных плодовых садов, необходимо обосновывать количество и расстановку капельных водовыпусков с целью обеспечения научно обоснованного значения коэффициента увлажнения зоны питания выращиваемых культур.

Предложенная зависимость предназначена для определения количества капельных водовыпусков, располагаемых в зоне питания каждого дерева плодового сада. При этом учитываются следующие условия проведения полива: вид культуры и природно-климатическая зона ее возделывания, схема расстановки деревьев, почвенные условия садового участка и необходимая глубина зоны увлажнения почвы. Проверочные расчеты показали применимость полученной зависимости для использования в практике проектирования и эксплуатации систем капельного орошения плодовых садов.

Список источников

1. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 1–11. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> (дата обращения: 20.01.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11.

2. Шкура В. Н., Обумахов Д. Л., Рыжаков А. Н. Капельное орошение яблони: монография / под ред. В. Н. Шкуры. Новочеркасск: Лик, 2014. 310 с.

3. Ясониди О. Е. Капельное орошение. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
4. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Капельные оросительные системы: учеб. пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 197 с.
5. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика прогнозирования контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 4(36). С. 72–87. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=636> (дата обращения: 20.01.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-72-87.
6. Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения»: утв. Союзводпроект 11.04.86. М.: Союзводпроект, 1986. 149 с.

References

1. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2019. [Conceptual and methodological principles (basics) of development strategy for land reclamation as a national treasure of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 1-11, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> [accessed 20.01.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11. (In Russian).
 2. Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapel'noe oroshenie yablo-ni: monografiya* [Drip Irrigation of Apple Trees: monograph]. Novocherkassk, Lik Publ., 310 p. (In Russian).
 3. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).
 4. Vasiliev S.M., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2019. *Kapel'nye orositel'nye sistemy: uchebnoe posobie* [Drip Irrigation Systems: Textbook]. Novocherkassk, RosNIIPM, 197 p. (In Russian).
 5. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2019. [Methodology for predicting soil drip irrigation contours on slopes]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(36), pp. 72-87, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=636> [accessed 20.01.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-72-87. (In Russian).
 6. *Kapel'noe oroshenie: posobie k SNiP 2.06.03-85 "Meliorativnye sistemy i sooruzheniya"* [Drip Irrigation. Teaching guide to SNiP 2.06.03-85 "Reclamation systems and structures"]. Moscow, Soyuzvodproekt, 1986, 149 p. (In Russian).
-

Информация об авторе

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.02.2022; одобрена после рецензирования 15.02.2022; принята к публикации 25.02.2022.

The article was submitted 02.02.2022; approved after reviewing 15.02.2022; accepted for publication 25.02.2022.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

HYDRAULIC STRUCTURES

Научная статья

УДК 626.01:628.11

Особенности гидравлических расчетов работы водозаборов с применением аналитических функций при строительстве гидротехнических сооружений

Мария Владимировна Кузнецова¹, Ольга Николаевна Маслак²

^{1, 2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹Kuzmary@list.ru

²maslakov@rambler.ru

Аннотация. Целью работы являлся анализ исследований, посвященных применению гидродинамического метода расчета водозаборов, основанного на аналитическом решении краевых задач теории фильтрации подземных вод. Для сельскохозяйственного водоснабжения в основном используют подземные воды, которые имеют особое значение, так как до 85–95 % всей расходуемой воды потребители получают за их счет. При расчетах водозаборных сооружений необходимо учитывать загрязнение подземных вод промышленными стоками. Сложность проектирования водозаборных сооружений заключается в недостаточном использовании аналитических методов в гидравлических расчетах. **Материалы и методы.** В данной работе с использованием фильтрационной теоремы о прямой и обобщенной теоремы об окружности рассмотрен расчет работы водозабора при прямолинейной и круговой границах загрязнения подземных вод промышленными стоками. Также представлены исследования линейной двумерной фильтрации, которая описана с использованием комплексного потенциала аналитических функций. **Результаты.** Определено, что допустимый дебит скважины увеличивается при уменьшении коэффициента проводимости пласта загрязненной полуплоскости. Если загрязненная зона представляет собой грунт той же проводимости, что и незагрязненная, то допустимый дебит скважины вдвое больше по сравнению с допустимым дебитом скважины, работающей вблизи открытого бассейна с прямолинейной границей. Если область захвата скважины не пересекается с круглой зоной загрязнения, то это единственный критерий работы скважины без загрязнения, который не зависит от характера этой области. **Выводы.** Данные сведения позволят более точно оценивать допустимый дебит скважины, влияющей на работу водозабора.

Ключевые слова: работа водозабора, дебит скважины, граница загрязнения, линейная фильтрация, комплексный потенциал, аналитические функции

Original article

Features of hydraulic calculations of water intakes using analytical functions in the hydraulic structures construction

Maria V. Kuznetsova¹, Olga N. Maslak²

^{1, 2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹Kuzmary@list.ru

²maslakov@rambler.ru

Abstract. The purpose of the work was to analyze the studies devoted to the application of hydrodynamic method for calculating water intakes, based on the analytical solution of boundary value problems of the groundwater filtration theory. For agricultural water supply, groundwater is mainly used, which is of particular importance, since consumers receive up to 85–95 % of all water consumed at their expense. When calculating water intake facilities, it is necessary to take into account the pollution of groundwater by industrial effluents. The complexity of designing water intake structures lies in the insufficient use of analytical methods in hydraulic calculations. **Materials and methods.** In this paper, the calculation of water intake operation with rectilinear and circular boundaries of groundwater pollution by industrial effluents is considered, using the filtration theorem on the direct and the generalized theorem on a circle. The studies of linear two-dimensional filtration which is described using the complex potential of analytic functions are also presented. **Results.** It is determined that the allowable well yield increases by decreasing the conductivity coefficient of the formation of the contaminated half-plane. If the contaminated zone is soil of the same conductivity as the uncontaminated one, then the allowable well yield is twice as high as the allowable well yield operating near an open basin with a straight boundary. If the well capture area does not intersect with a circular contamination zone, then this is the only criterion for well operation without contamination, which does not depend on the nature of this area. **Conclusions.** This data will make it possible to assess more accurately the allowable well yield which affects the operation of the water intake.

Keywords: water intake operation, well yield, pollution boundary, linear filtration, complex potential, analytical functions

Введение. Сложность внедрения в практику проектирования водозаборных сооружений гидравлических расчетов, учитывающих загрязнение подземных вод промышленными стоками, связана с решением этих задач аналитическими методами. Эти методы основаны на знании математического анализа, теории функции комплексного переменного, а точнее комплексных потенциалов. При этом для морских побережий и солончаков необходимо также, чтобы не происходило засоления воды.

На работу водозабора влияет форма границ области загрязнения. Рассмотрим модели границ загрязнения или засоления, наиболее характерные и резко отличающиеся друг от друга (бесконечную прямую и окружность). В том случае, когда невозможно избежать загрязнения водозабора, для оценки рентабельности исследуют его относительную загрязненность [1].

Материалы и методы. В данной работе с использованием фильтрационной теоремы о прямой и обобщенной теоремы об окружности рассмотрен расчет работы водозабора при прямолинейной и круговой границах загрязнения подземных вод промышленными стоками. Также представлены исследования линейной двумерной фильтрации, которая описана с использованием комплексного потенциала аналитических функций.

Результаты и обсуждения.

1 Рассмотрим работу водозабора вблизи прямолинейной границы загрязнения [1].

Выберем ось Ox за прямую, которая является границей водозабора. Ось Oy проведем через центр скважины, расположенной в незагрязненной верхней полуплоскости в точке с координатами $x = 0, y = ai$. Пусть коэффициент проводимости незагрязненного пласта – k_1 , мСм/см, а загрязненной полуплоскости – k_2 , мСм/см. Пусть скважина питается естественным потоком подземных вод, который движется со скоростью V_0 , м/с, вдоль отрицательного направления оси Oy . Скважину будем моделировать стоком и определим такой ее дебит Q , м³/сут, в области с коэффициентом проводимости k_1 , чтобы загрязненные (или засоленные) воды нижней полуплоскости не попадали

в скважину. С использованием фильтрационной теоремы о прямой комплексные потенциалы рассматриваемого течения для зоны I с проводимостью k_1 и зоны II с проводимостью k_2 запишем следующим образом:

$$W_1 = V_0 z i - \frac{Q}{2\pi} \left[\ln(z - ai) + \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \ln(z + ai) \right], \quad (1)$$

$$W_2 = V_0 z i - \frac{Q}{2\pi} \frac{2k_2}{k_1 + k_2} \ln(z - ai),$$

где W_1, W_2 – комплексные потенциалы течения;

V_0 – скорость движения потока подземных вод, м/с;

Q – дебит скважины, м³/сут;

π – математическая постоянная, $\pi = 3,14$;

z – критическая точка течения;

a – расстояние от скважины до границы области загрязнения, м;

i – мнимая единица;

k_1 – коэффициент проводимости грунта незагрязненной области, мСм/см;

k_2 – коэффициент проводимости грунта загрязненной области, мСм/см.

Для того, чтобы в скважину не попадала жидкость, проходящая через зону II, необходимо, чтобы картина течения в крайнем случае имела вид, изображенный на рисунке 1, т. е. чтобы линии тока, проходящие через скважину, не располагались в зоне II [2].

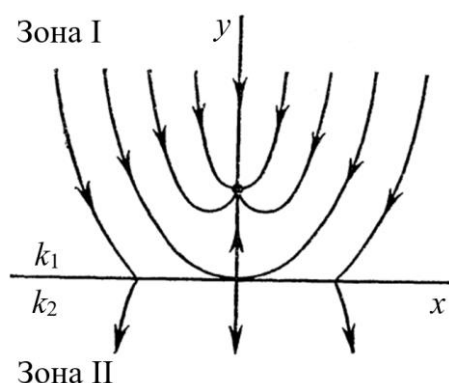


Рисунок 1 – Прямолинейная граница линии водозабора

Figure 1 – Rectilinear boundary of the water intake line

Располагаем критическую точку течения в начале координат. На основании равенства (1) найдем комплексную скорость течения в зоне I:

$$\frac{dW_1}{dz} = V_0 i - \frac{Q}{2\pi} \left[\frac{1}{z - ai} + \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \frac{1}{z + ai} \right]. \quad (2)$$

Если критическая точка течения находится в начале координат $z = 0$, то в силу равенства (2) справедливо уравнение:

$$V_0 i + \frac{Q}{2\pi} \left(\frac{1}{ai} - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \frac{1}{ai} \right) = 0.$$

Используем последнее уравнение при заданной скорости V_0 , м/с, не возмущенного скважиной потока грунтовых вод для определения дебита скважины Q , м³/сут, в которую не поступают загрязненные воды:

$$Q = \pi a V_0 \left(1 + \frac{k_1}{k_2} \right). \quad (3)$$

Предельные случаи формулы (3) рассмотрим далее. Пусть незагрязненная и загрязненная области грунта обладают одинаковой проводимостью ($k_1 = k_2$) [3]. Дебит скважины, работающей без загрязнения, определим по формуле:

$$Q = 2\pi a V_0.$$

Пусть загрязненная область представляет собой свободную жидкость ($k_2 = \infty$). Тогда на основании формулы (3) дебит скважины:

$$Q = \pi a V_0.$$

Назовем дебит скважины при ее работе без загрязнения (или засоления) допустимым. Областью захвата называют область, занятую жидкостью, попадающей в скважину, а нейтральной линией – границу, проходящую через критическую точку.

Из двух последних формул очевидно, что если загрязненная область представляет собой грунт той же проводимости, что и незагрязненная область, то допустимый дебит скважины вдвое больше по сравнению с допустимым дебитом скважины, работающей «близ открытого бассейна с прямолинейной границей» (например, у берега моря).

Формула (3) показывает, что допустимый дебит скважины увеличивается при уменьшении k_2 . Однако предельный случай, когда $k_2 = 0$, не имеет места в рассматриваемой задаче [4]. В этом случае непроницаемой границей является ось Ox , что не соответствует предположению о загрязненном грунте зоны II и противоречит предположению о течении жидкости вдоль оси Oy , не возмущенном скважиной.

2 Исследуем работу водозабора вблизи круговой границы: определим комплексные потенциалы, комплексную скорость течения и дебит скважины, в которую не поступают загрязненные воды.

Пусть граница области загрязнения – окружность радиуса r_0 , м. Выберем в центре окружности начало координат. Пусть вне окружности незагрязненная зона имеет коэффициент проводимости k_1 , а коэффициент проводимости загрязненной зоны внутри окружности – k_2 . При этом скважина, моделируемая стоком, находится в поступательном потоке грунтовых вод, который движется со скоростью V_0 , м/с, и искажается зоной загрязнения.

Пусть ось Oy проходит через центр скважины, и положим, что поступательный поток имеет скорость V_0 , параллельную прямой, соединяющей скважину с центром загрязнения (рисунок 2) [5].

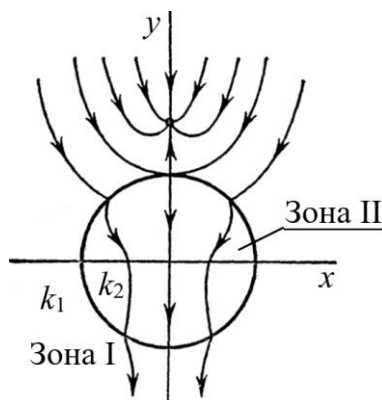


Рисунок 2 – Круговая граница линии водозабора

Figure 2 – Circular boundary of the water intake line

Обозначим через a , м, расстояние от скважины до границы зоны загрязнения. Тогда:

$$x = 0, y = r_0 + a,$$

где x , y – координаты центра скважины.

Используя обобщенную теорему об окружности, запишем комплексные потенциалы этого течения в виде:

$$W_1 = \frac{Q}{2\pi} \left[-\ln(z - (r_0 + a) \cdot i) - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \cdot \left[\ln \left(z - \frac{r_0^2}{r_0 + a} \cdot i \right) - \ln z \right] \right] + \\ + V_0 i \cdot \left[z + \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \cdot \left(\frac{r_0^2}{z} \right) \right], \\ W_2 = -\frac{Q}{2\pi} \cdot \frac{2k_2}{k_1 + k_2} \ln[z - (r_0 + a) \cdot i] + \frac{2k_2 V_0}{k_1 + k_2} z,$$

где r_0 – радиус границы зоны загрязнения, м.

Для того чтобы в скважину не попадала жидкость, проходящая через загрязненную зону, необходимо, чтобы область захвата скважины не пересекала загрязненную зону или в крайнем случае только касалась ее [6].

Последнее означает, что критическая точка течения должна иметь координаты $x = 0, y = r_0$ (рисунок 2). При этом комплексная скорость течения в незагрязненной зоне определяется по формуле:

$$\frac{dW_1}{dz} = \frac{Q}{2\pi} \left\{ -\frac{1}{z - (r_0 + a)i} - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \cdot \left[\frac{1}{z - \frac{r_0^2 i}{r_0 + a}} - \frac{1}{z} \right] \right\} + V_0 i \cdot \left(1 - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \cdot \frac{r_0^2}{z^2} \right),$$

где $\frac{dW_1}{dz}$ – комплексная скорость течения в зоне I, м/сут.

Тогда координаты указанной критической точки удовлетворяют уравнению:

$$\frac{Q}{2\pi} \left[\frac{1}{ai} - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \cdot \left(\frac{r_0 + a}{r_0 ai} - \frac{a}{r_0 ai} \right) \right] + V_0 i \cdot \left(1 - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right) = 0.$$

Следующее уравнение служит для определения допустимого дебита скважины, работающей без загрязнения:

$$Q = 2\pi a V_0.$$

При этом в последнюю формулу не входят характеристики грунта загрязненной зоны. Можно сделать вывод, что условие непересечения области захвата скважины с круглой областью загрязнения – единственный критерий работы скважины без загрязнения, который не зависит от характера этой области. Частный случай – область загрязнения может быть квадратной, заполненной жидкостью.

Теперь предположим, что в однородном слое постоянной толщины имеет место линейная двумерная фильтрация, которую можно описать комплексным потенциалом W . Рассмотрим какую-либо кривую L , соединяющую любые точки, например A и C , основной плоскости течения, и вычислим расход жидкости ΔQ , м³/с, через слой, опирающийся на эту кривую [7]. Обозначая через V_n нормальную составляющую скорости вдоль L , запишем:

$$\Delta Q = \int_A^C V_n ds = \int_A^C \frac{\partial \psi}{\partial s} ds = \psi_C - \psi_A,$$

где ΔQ – расход жидкости, м³/с;

V_n – нормальная составляющая скорости;

ψ_C – значение функции тока в точке C;

ψ_A – значение функции тока в точке A.

Мы видим, что расход жидкости не зависит от формы кривой и определяется только значениями функции тока в ее крайних точках. Смоделируем работу водозабора стоком. Тогда расход жидкости определяется мощностью стока Q , Дж/с, или интегралом по замкнутому контуру, охватывающему точку расположения стока, вида:

$$\oint V_n ds = Q,$$

где Q – мощность стока, Дж/с.

Выводы. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- допустимый дебит скважины увеличивается при уменьшении коэффициента проводимости пласта загрязненной полуплоскости;

- если загрязненная зона представляет собой грунт той же проводимости, что и незагрязненная, то допустимый дебит скважины вдвое больше по сравнению с допустимым дебитом скважины, работающей вблизи открытого бассейна с прямолинейной границей;

- если область захвата скважины не пересекается с круглой зоной загрязнения, то это единственный критерий работы скважины без загрязнения, который не зависит от характера этой области.

Данные сведения позволяют более точно оценивать допустимый дебит скважины, влияющей на работу водозабора.

Список источников

1. Лавров Н. П., Шипилов А. В. Методика проведения экспериментов на модели водозаборного сооружения для деривационной ГЭС // Сборник лучших докладов Неделю науки СПбГПУ. СПб., 2013. С. 15–17.

2. Малышева Н. Б., Розендорн Э. Р. Функции комплексного переменного: учебник. М.: Физматлит, 2010. 168 с.

3. Гаврилюк С. М., Бондаренко В. Л., Кувалкин А. В. Влияние тенденции посадки русла на надежность работы береговых водозаборных сооружений, находящихся в длительной эксплуатации // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 2(02). 15 с. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=443> (дата обращения: 01.03.2022).

4. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 2003. 288 с.

5. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования [Электронный ресурс]: ТКП 45-4.01-320-2018 (33020). URL: [https://schuchin-zhkh.by/assets/docs/%D0%A2%D0%9A%D0%9F%2045-4.01-320-2018%20\(33020\).pdf](https://schuchin-zhkh.by/assets/docs/%D0%A2%D0%9A%D0%9F%2045-4.01-320-2018%20(33020).pdf) (дата обращения: 10.02.2022).

6. Суреньянц С. Я., Иванов А. П. Эксплуатация водозаборов подземных вод. М.: Стройиздат, 1989. 80 с.

7. Плотников Н. А., Алексеев В. С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. М.: Стройиздат, 1990. 256 с.

References

1. Lavrov N.P., Shipilov A.V., 2013. *Metodika provedeniya eksperimentov na modeli vodozabornogo sooruzheniya dlya derivatsionnoy GES* [Methodology for conducting experiments on the model of a water intake structure for a diversion hydroelectric power station]. *Sbornik luchshikh dokladov Nedeli nauki SPbGPU* [Collection of the Best Reports of the SPbSPU Science Week]. St. Petersburg, pp. 15-17. (In Russian).
 2. Malysheva N.B., Rozendorn E.R., 2010. *Funktsii kompleksnogo peremennogo: uchebnik* [Functions of a Complex Variable: textbook]. Moscow, Fizmatlit Publ., 168 p. (In Russian).
 3. Gavriluk S.M., Bondarenko V.L., Kuvalkin A.V., 2011. [Influence of tendency of canal landing on work reliability for coastal water intake structures being in long-term operation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(02), 15 p., available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=443> [accessed 01.03.2022]. (In Russian).
 4. Zhurba M.G., Sokolov L.I., Govorova Zh.M., 2003. *Vodosnabzhenie. Proektirovanie sistem i sooruzheniy: uchebnoe posobie* [Water Supply. Design of Systems and Structures: textbook]. 2nd ed., rev. Moscow, ASV Publ., 288 p. (In Russian).
 5. ТКР 45-4.01-320-2018 (33020). *Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Stroitel'nye normy proektirovaniya* [Water Supply. External Networks and Structures. Building Design Standards], available: [https://schuchin-zhkh.by/assets/docs/%D0%A2%D0%9A%D0%9F%2045-4.01-320-2018%20\(33020\).pdf](https://schuchin-zhkh.by/assets/docs/%D0%A2%D0%9A%D0%9F%2045-4.01-320-2018%20(33020).pdf) [accessed 10.02.2022]. (In Russian).
 6. Surenyants S.Ya., Ivanov A.P., 1989. *Ekspluatatsiya vodozaborov podzemnykh vod* [Exploitation of Underground Water Intakes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 80 p. (In Russian).
 7. Plotnikov N.A., Alekseev V.S., 1990. *Proyektirovanie i ekspluatatsiya vodozaborov podzemnykh vod* [Design and Operation of Underground Water Intakes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 256 p. (In Russian).
-

Информация об авторах

М. В. Кузнецова – доцент, кандидат технических наук;

О. Н. Маслак – доцент, кандидат технических наук.

Information about the authors

M. V. Kuznetsova – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;

O. N. Maslak – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences.

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 15.02.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 28.03.2022.

The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication 28.03.2022.