

УДК 332.1:631.6

JEL Q56

DOI: 10.17213/2075-2067-2024-2-138-153

КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ОБОСНОВАНИИ УСТОЙЧИВЫХ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ

Людмила Николаевна Медведева^{1✉}, Антонина Александровна Пахомова²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», Волгоград, Россия

¹Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М. И. Платова, Новочеркасск, Россия

¹milena.medvedeva2012@yandex.ru✉, ORCID: 0000-0002-3650-2083, AuthorID РИНЦ: 665980, AuthorID Scopus: 57119337500, SPIN-код: 4685-1949

²tivano@yandex.ru, AuthorID РИНЦ: 405417, SPIN-код: 4903-0814

Аннотация. Целью исследования стало формирование концептуально-методологических подходов в обеспечении устойчивых агроландшафтов на основе адаптивных систем земледелия и комплексных мелиораций. Объекты исследования — агроландшафты, расположенные в Волго-Донском междуречье, и региональные системы орошаемого земледелия.

Материалы и методы. Основу исследования составил метаанализ результатов научных экспедиций, проводимых учеными ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград) за последние годы, а также анализ статистических данных по климатическим изменениям, состоянию региональной агропродовольственной системы. Обработка материалов и расчеты проводились с помощью компьютерных программ MS Office 2010, Statistica 13.

Результаты и выводы. Результаты исследования подтверждают повышение эффективности сельскохозяйственного производства на орошаемых землях в степной зоне на основе более широкого применения инноваций и цифровых технологий. Киберэкономическое моделирование процессов, протекающих в агроландшафтах, позволило предложить адаптивно-ландшафтные системы земледелия на основе учета разных видов полива и схем севооборотов. Выделение в пространственной структуре Волго-Донского междуречья сетевого агроландшафта интенсивного промышленного садоводства в какой-то мере восполнило научный пробел в этой области знаний. Разработанные интегральные показатели устойчивости агроландшафтов позволили спрогнозировать продукционный потенциал региональных агропродовольственных систем.

Ключевые слова: орошаемые агроландшафты, методология исследования, адаптивно-ландшафтные системы земледелия, модель агропродовольственных региональных систем, экономико-математическое моделирование

Для цитирования: Медведева Л. Н., Пахомова А. А. Концептуально-методологический подход в обосновании устойчивых орошаемых агроландшафтов // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. 2024. Т. 17, № 2. С. 138–153. <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2024-2-138-153>.

Original article

CONCEPTUAL AND METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING SUSTAINABLE IRRIGATED AGRICULTURAL LANDSCAPES

Lyudmila N. Medvedeva¹✉, Antonina A. Pakhomova²

¹*All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture — branch of FSBSI «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov», Volgograd, Russia*

¹*Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*

²*Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*
¹*milena.medvedeva2012@yandex.ru ✉, ORCID: 0000-0002-3650-2083, AuthorID RSCI: 665980, AuthorID Scopus: 57119337500, SPIN-code: 4685-1949*
²*tivano@yandex.ru, AuthorID RSCI: 405417, SPIN-code: 4903-0814*

Abstract. *The purpose of the study was to develop conceptual and methodological approaches to ensuring sustainable agricultural landscapes based on adaptive farming systems and integrated land reclamation. The objects of study are agricultural landscapes located in the Volga-Don interfluvium and regional systems of irrigated agriculture.*

Materials and methods. *The basis of the study was a meta-analysis of the results of scientific expeditions conducted by scientists from VNIIOZ — branch of the Federal State Budgetary Institution «FNTs VNIIGiM named after A. N. Kostyakov» (Volgograd) in recent years, as well as analysis of statistical data on climate change and the state of the regional agri-food system. Processing of materials and calculations were carried out using computer programs MS Office 2010, Statistica 13.*

Results and conclusions. *The results of the study confirm the increase in the efficiency of agricultural production on irrigated lands in the steppe zone based on the wider use of innovations and digital technologies. Cyber-economic modeling of processes occurring in agricultural landscapes has made it possible to propose adaptive landscape farming systems based on taking into account different types of irrigation and crop rotation schemes. The identification of a network agrolandscape of intensive industrial gardening in the spatial structure of the Volga-Don interfluvium has to some extent filled the scientific gap in this area of knowledge. The developed integral indicators of the sustainability of agricultural landscapes made it possible to predict the production potential of regional agri-food systems.*

Keywords: *irrigated agricultural landscapes, research methodology, adaptive landscape farming systems, model of agri-food regional systems, economic and mathematical modeling*

For citation: *Medvedeva L. N., Pakhomova A. A. Conceptual and methodological approach to substantiating sustainable irrigated agricultural landscapes // Bulletin of the South Russian State Technical University. Series: Socio-economic Sciences. 2024; 17(2): 138–153. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17213/2075-2067-2024-2-138-153>.*

Введение. Концепция устойчивого развития, являющаяся мировым методологическим трендом, обосновывает рачительное использование природной пресной воды и развитие орошаемого земледелия, которое

наряду с высоким сельскохозяйственным потенциалом несет перманентные экологические риски. Ландшафтоведение является одним из направлений естественных наук, раскрывающих функционирование геосис-

тем во взаимодействии со всеми известными природными процессами. Теоретические основы развития ландшафтов изложены в работах В. Докучаева, К. Риттера, А. Гумбольдта, Л. Берга, Ф. Милькова, А. Воейкова, И. Кружилина и др. [1; 6; 12; 16]. Наиболее полная картина функционирования природных ландшафтов, выступающих основой для организации сельскохозяйственного производства, представлена в трудах Ф. Милькова (1972–1978), В. Николаева (1984–1986) [16; 17]. Под аграрными ландшафтами они понимали «земледельческие природно-антропогенные комплексы с региональной размерностью», которые в зависимости от протекающих процессов подразделяются на техногенные, пирогенные и беллигеративные [19, с. 63]. В настоящее время сложилось несколько подходов в изучении ландшафтов:

— общий подход, рассматривающий ландшафт как структурный элемент географической оболочки Земли с внутренними закономерностями и общими свойствами: целостностью, открытостью и устойчивостью;

— частный подход, определяющий развитие ландшафтов, исходя из оценки преобладающих процессов: влагооборота, почвообразования, формирования биомассы, тепло- и влагообеспеченности;

— технологичный подход, классифицирующий типы ландшафтов на основе применения доминирующих технологий.

Ввиду значительного распространения научных знаний о ландшафтах определение их значимости в развитии сельскохозяйственного производства стало весьма полемичным и дискуссионным. Предпосылкой к созданию научного направления — антропогенного ландшафтоведения — стали работы В. Докучаева, в числе которых «Наши степи прежде и теперь» (1892). Сельскохозяйственный ландшафт в его представлении — «территориальная единица, с определенным пищевым, водным и тепловым режимом, находящаяся в пользовании человека» [6, с. 41]. Схожей точки зрения придерживается В. Кирюшин (2011), который определяет агроландшафт как геосистему с совокупностью определяющих факторов и значений, функционирующую «в пределах единой миграции вещества и энергии» [10, с. 94]. В работах академика РАН И. Кружилина под агроландшафтами

понимаются «территории под хозяйственной деятельностью человека в пределах природной зоны, отличающиеся своеобразием водного режима, биологического и геохимического круговорота веществ» [12, с. 29]. Основные положения ландшафтно-экологического земледелия «как нового пространственно-временного отношения человека с природой» изложены в трудах А. Каштанова (1994) [9]. Структура агроландшафта с подсистемами: природной и производственно-социальной, обоснована в работе А. Юртаева (2011) [22, с. 219]. Во многих публикациях присутствует точка зрения, что сельскохозяйственный агроландшафт — это природная геосистема с относительно низким порогом экологической надежности, требующая постоянного наблюдения и принятия действенных мер по сохранению плодородия [19].

Из многообразия определений выделим следующие:

— агроландшафт — это территориальная система, состоящая из взаимосвязанных природных и антропогенных компонентов, обладающих однотипным рельефом, единообразным сочетанием почв и растительности;

— агроландшафт — земельная единица, выделяемая для сельскохозяйственном деятельности;

— агроландшафт — это совокупность агроценозов в пределах административно-территориальной единицы или природной зоны.

Изменения в агроландшафтах являются весьма сложными, что обосновывает необходимость мониторинга за ресурсовоспроизводящими и средоформирующими факторами. Одними из функциональных показателей агроландшафтов являются экологическая устойчивость и восстановительная способность. Устойчивыми агроландшафтами считаются те, в которых сохраняется естественное плодородие на значительный период времени.

В Российской Федерации около 9480 млн га мелиорированных земель, из которых в производстве используется менее 5,0 млн га. Исследовательский опыт позволяет ученым — академиком РАН обосновывать необходимость увеличения орошаемых земель в стране. Ученый И. Айдаров считает, что «необходимо иметь 22 млн га мелиорированных земель» [1, с. 44]; И. Кружилин при-

держивается точки зрения, «что пригодные к орошению площади земель, обеспечивающие среднюю устойчивость сельского хозяйства, должны быть в пределах 12 млн га» [11, с. 54]; В. Щедрин убедительно доказывает, что «в стране должно быть 10 млн га старо-, новоорошаемых земель» [24, с. 30]. Один из прогнозных вариантов развития сельского хозяйства на мелиорированных землях представлен в таблице 1.

Одной из перспективных природных зон для орошаемого земледелия является степная, которая занимает площадь 1,7 млн км² (10% территории страны) [4; 20]. Интенсивное природопользование способствовало формированию агроэкосистемы степей, обеспечивающей относительное существование естественных организмов и постоянное воспроизводство сельскохозяйственной продукции. В зону степей входит территория Волго-Донского междуречья (большая часть Волгоградской области), расположенная между сформировавшимися речными долинами рек Волги и Дона, обладающая мощным почвенным покровом, состоящим

из черноземов и каштановых почв. Особенностью междуречья является значительное наличие земельных и водных ресурсов, а также сильная подверженность эрозийным процессам, что уменьшает интенсивность сельскохозяйственного труда (рисунок 1) [12].

Ретроспективный анализ показал наличие в междуречье хорошо сформированных агроландшафтов: растениеводческого, овощеводческого, лугово-пастбищного. В ходе исследования был выделен новый тип агроландшафта — сетевой агроландшафт интенсивного промышленного садоводства с «ядрами» промышленно-сельскохозяйственного производства и сформированными цепочками поставок. Площадь агроландшафта интенсивного промышленного садоводства в Волго-Донском междуречье составляет 7,1 тыс. га (для сравнения: в 2010 году было 5,0 тыс. га). Лидером по производству плодоягодной продукции выступает компания ООО НПП «Сады Придонья» (Волгоградская область), имеющая 3,7 тыс. га интенсивных садов¹. Выделение нового типа агроландшафта производилось на основе динамических рас-

Таблица 1
Table 1

Развитие сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях в России до 2030 г (прогноз)
Development of agricultural production on reclaimed lands in Russia until 2030 (forecast)

Наименование показателей	Площадь, млн га	Сбор з. е. после внедрения, млн т	Сбор з. е. до внедрения, млн т	Прирост з. е., млн т	Стоимость з. е. после внедрения, млрд руб	Стоимость з. е. до внедрения, млрд руб	Прирост стоимости, млрд руб
Орошение, в том числе восстановленное	4	25,1	11,9	13,2	251	95,2	155,8
Новое орошение	6	37,7	17,8	19,9	377	142,8	234, 2
Осушение	10	9,3	–	9,3	93	–	93
Культуртехнические мероприятия	5	5,5	–	5,5	55	–	55
Итого	25	77,6	29,7	47,9	776	237,9	538

¹ Сады Придонья [Электронный ресурс] // Официальный сайт. URL: <https:pridonie.ru> (дата обращения: 25.02.2024).

четов по площади и урожайности садов, объемов товарных и финансовых потоков. В новом типе агроландшафта сложилась система взаимодействий между структурами и уровнями, обеспечивающих его устойчивость и дальнейшую эволюцию [4; 7]. Устойчивое состояние орошаемых ландшафтов достигается за счет максимально полного учета контролируемых показателей, применения адаптивно-ландшафтных систем земледелия и комплексных мелиораций.

В сельскохозяйственной науке и практике получил применение индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), дающий возможность определения состояния сельскохозяйственных агроландшафтов (совокупности агроценозов). Мультиспектральные данные, полученные с помощью спутников Sentinel-2A и 2B (ESA), Landsat-8 и Landsat-9, дополняют картины исследований по оценке состояния орошаемых агроландшафтов с посевами. Использование киберэкономического инструментария в сельскохозяйственном производстве позволяет сократить экспертные трудозатраты, повысить точность распознавания исследуемых объектов, обосновать правильность принимаемых решений [2]. Искусственные нейросети с глубоким обучением (Deep Learning) в настоящий момент являются наиболее распространенным видом алгоритмов машинного обучения и позволяют проводить анализ

состояния полей, определять наличие сорной растительности на единицу площади, устанавливать плотность посевов через сегментирование фотоснимков с группированием пикселей.

Разработанная во ВНИИОЗ — филиале ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград) киберэкономическая система оценки орошаемых агроландшафтов включает базы данных и справочно-аналитических материалов, авторские компьютерные программы, IT-системы мониторинга почвенных и водных ресурсов, датчики Decagon MPS-6. Выходами интеллектуальных нейронных сетей (ИНС) выступают данные об оптимальном режиме орошения, возделывании культур по фазам роста и развития. Объектом исследования являются орошаемые агроландшафты; целью исследования — формирование концептуально-методологического обоснования орошаемых агроландшафтов на основе экономико-математического моделирования.

Материалы и методы. Методологическую основу составили труды отечественных и зарубежных ученых, размещенные в базах РИНЦ, Scopus, Cloud Shell. С помощью методов экономико-математического моделирования был проведен расчет эффективности региональной системы орошаемого земледелия (PCO3) с построением когнитивной модели «взаимодействие — результат» с орграфами:

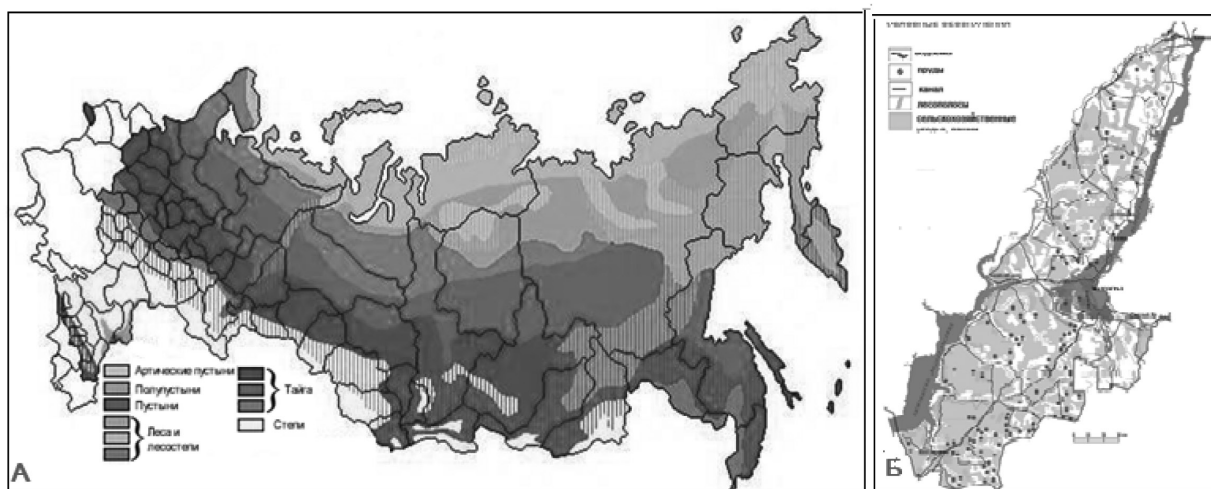


Рис. 1. Природные зоны России (А), природно-производственная инфраструктура Волго-Донского междуречья (Б)

Fig. 1. Natural zones of Russia (A), natural and industrial infrastructure of the Volga-Don interfluvium (B)

$$G = (V, E, w),$$

где G — знаковый ориентированный граф;
 $V = \{V_i\}$ — множество вершин, представленных факторами;
 $E = \{E_{ij}\}$ — множество дуг, отражающих причинно-следственные взаимосвязи;
 $w = \{w_{ij}\}$ — множество весов, определяющих силу влияния между вершинами, $w_{ij} \in [-1, 1]$.

Модель РСОЗ представлена уравнением:

$$X(t) = (IN + A + A_2 + \dots + A_n) \cdot x(0)\tau, \quad (1)$$

где IN — единичная матрица размером $n \times n$;
 n — количество факторов;
 A — матрица взаимовлияния, размерности $n \times n$;
 $x(0)\tau$ — вектор начальных значений факторов, размерности $1 \times n$.

С помощью программы Statistica 13 были рассчитаны «коэффициенты напряженности» региональной системы орошаемого земледелия по выделенным факторам. Фактор «политика государства и региональных властей» составил $k = 0,81$. Расчетные коэффициенты других факторов: конъюнктура продовольственных рынков $k = 0,71$, объемы государственной поддержки $k = 0,67$, применяемые технологии $k = 0,52$, финансово-экономическая устойчивость КФХ $k = 0,73$, экологическое состояние земель $k = 0,38$. Наиболее «чувствительными» стали следующие факторы: конъюнктура продовольственных рынков, позиция федеральных и региональных властей, обеспечивающих государственную поддержку сельхозтоваропроизводителей.

Для определения оптимального землепользования в зоне Волго-Донского междуречья использовались расчеты, проведенные с помощью формул [19]:

$$\psi(u) = \max_{x_l, y} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{l \in L} C_l(y) \cdot x_l - \\ - C_0 \left[\left(\frac{y}{\theta} \right)^{4,35} - 1 \right] - \\ - \left(C_1 \left(\frac{y}{\theta} \right)^{4,35} + C_2 \right) \cdot \delta \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $\psi(u)$ — целевая функция, определяющая наибольший эффект при оптимальном землепользовании, руб;

u — уровень водоподдачи в систему, м³;

x_l — искомая площадь орошения под l -севооборот;

l — индекс севооборота;

y — общий коэффициент полезного действия оросительной системы;

L — множество севооборотов, включающее подмножества $L_i, i \in [1, n]$, определенных видов сельскохозяйственной продукции;

$C_l(y)$ — стоимость продукции с единицы орошаемой площади для l -севооборота, руб./га;

C_0 — приведенные капитальные затраты на строительство оросительных систем, руб.;

θ — КПД всей оросительной системы, $\theta \leq y \leq 1$;

C_1 — приведенные капитальные затраты на строительство оросительного канала в земляном русле, руб.;

C_2 — приведенные капитальные затраты на строительство оросительного канала бетонном русле в сопоставимых ценах, руб.;

δ — бинарная переменная, определяемая из зависимости:

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{j \in J} +u_j \leq u_j^0, \\ 1, & \text{если } \sum_{j \in J} +u_j > u_j^0, \end{cases} \quad (3)$$

где u_j — пропускная способность проектируемого перспективного j -го отрезка оросительного канала, м³;

u_j^0 — пропускная способность существующего j -го отрезка ОС, м³.

Для определения рентабельности сельскохозяйственного производства на орошаемых агроландшафтах использовалась формула (3):

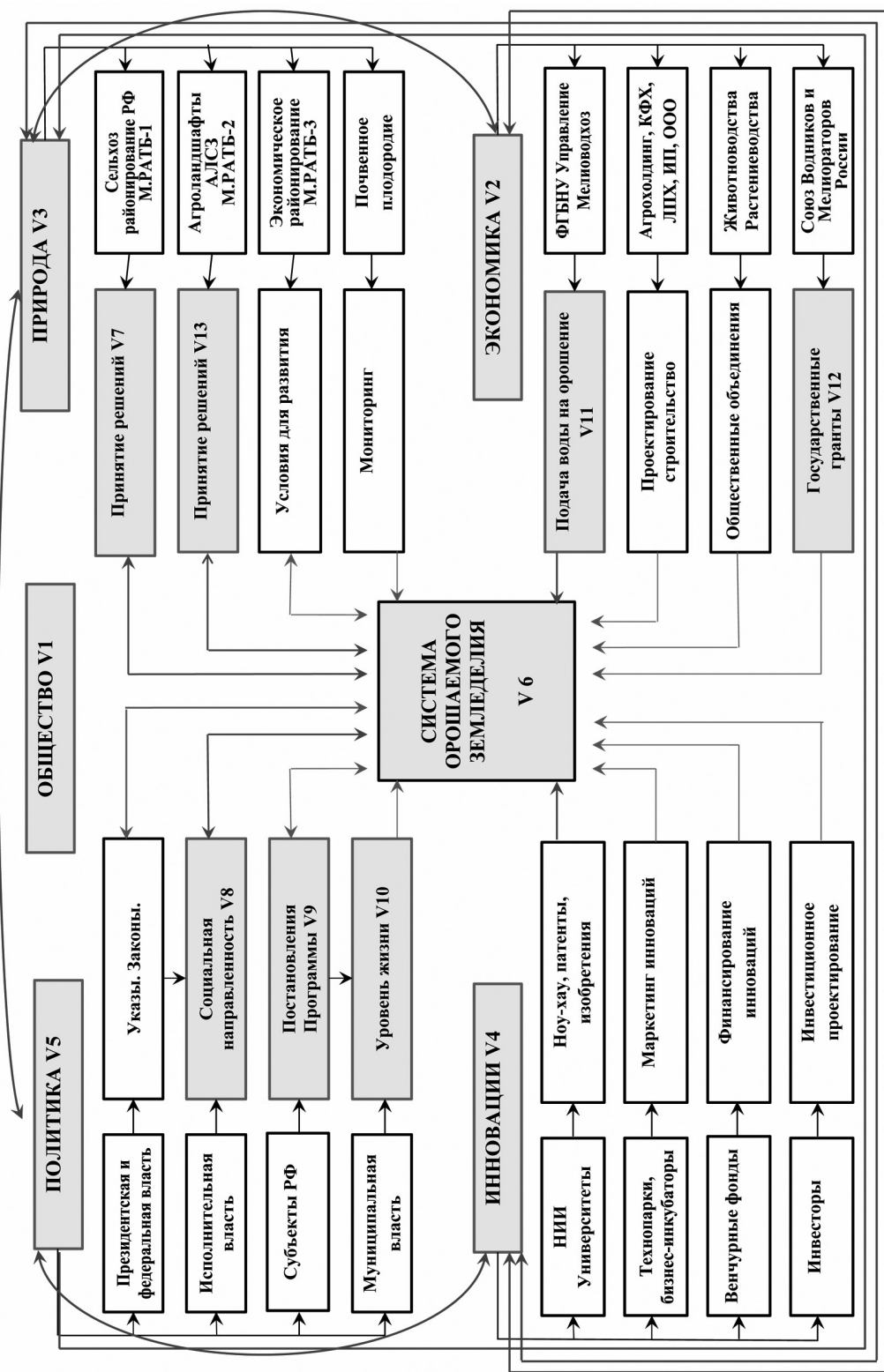
$$P_{\text{произ}} = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta\Pi_i}{\Delta C_i} \cdot 100, \quad (4)$$

где $P_{\text{произ}}$ — рентабельность производства продукции на орошаемых землях, %;

$\Delta\Pi$ — прирост прибыли i -го КФХ, полученный за счет полива земель, руб.;

ΔC — прирост текущих затрат, связанный с производством сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях, содержанием оросительной системы, i -го КФХ, руб.;

N — число КФХ.



Выделенные факторы внешней среды: v1 — общество, v2 — экономика, v3 — природа, v4 — инновации, v5 — политика, v6 — система орошаемого земледелия; факторы индикаторы: v7 — эколого-экономическая напряженность, v8 — социальная напряженность, v9 — обеспеченность продовольствием, v10 — уровень жизни, v11 — производство, v12 — инвестиции, v13 — занятость

Рис. 2. Когнитивно-математическая модель региональной системы орошаемого земледелия
Fig. 2. Cognitive-mathematical model of the regional system of irrigated agriculture

Для расчета выручки от реализации сельскохозяйственной продукции, полученной на орошаемых землях, применялась формула:

$$\Delta B_i = \sum_{j=1}^N (Y_{ji}^{\text{после}} - Y_{ji}^{\text{до}}) \times F_{\text{мели}} \cdot \alpha_{ji} \cdot K_{\text{зми}} \cdot \rho_j, \quad (5)$$

где $Y_{ji}^{\text{после}}$ — фактическая урожайность j -й сельскохозяйственной культуры на орошаемых землях в i -м КФХ, ц/га;

$Y_{ji}^{\text{до}}$ — фактическая урожайность j -й сельскохозяйственной культуры на богарных землях в i -м КФХ, ц/га;

$F_{\text{мели}}$ — орошаемая площадь в i -м КФХ, га;

$K_{\text{зми}}$ — коэффициент земельного использования в i -м КФХ, относительных единиц;

n — число сельскохозяйственных культур, шт.;

α_{ji} — доля орошаемых земель, занятая j -й сельскохозяйственной культурой, в i -м КФХ, относительных единиц;

ρ_j — цена реализации j -й сельскохозяйственной культуры, руб/ц.

Для оценки состояния орошаемых агроландшафтов применялась таблица укрупненных показателей (таблица 2). Для оценки потенциалов орошаемых агроландшафтов

применялась матрица плодородия, разработанная в ходе исследования (таблица 3).

Рассуждения. В Российской Федерации действует государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса до 2030 года. В числе целей: вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения (13234,8 тыс. га). обеспечение водного режима на гидромелиоративных площадях (1353,5 тыс. га). Вопросы устойчивого развития орошаемых агроландшафтов в зоне степей Волго-Донского междуречья занимают научные школы под руководством академика РАН И. Кружилина (разработка адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия для сухостепной зоны), академика РАН В. Щедрина (разработка оросительно-осушительных систем для степных агроландшафтов) [4; 8; 12; 15; 21].

Большая часть территории Волго-Донского междуречья входит в состав Волгоградской области. Зона характеризуется значительным разнообразием почвенно-климатических условий, которые обеспечивают развитие сельскохозяйственного производства и сельских территорий. При движении с севера

Таблица 2
Table 2

**Показатели оценки состояния орошаемых земель
 Indicators for assessing the condition of irrigated lands**

Категория земель	Интенсивность проявления неблагоприятных процессов	Класс земель	Понижающий коэффициент на неблагоприятные свойства почв Кп
Хорошая	Отсутствует	0	1
Хорошая с угрозой ухудшения	Подъем УГВ	0 ^н	1
	Полив водой 3–4-го класса	0 ^о	1
Деградирующие почвы	Опасность проявления геологических процессов	0 ^н	1
	Степень засоления		
	Нет		
	Слабая	3 ₁	0,800–0,240
	Средняя	3 ₂	0,600–0,120
	Сильная	3 ₃	0,400–0,120

Примечание: 3 — засоление.

на юг наблюдается изменение почвенного плодородия: черноземные почвы заменяются светло-каштановыми с низким содержанием гумуса (1,5–3%). Общая площадь сельскохозяйственных угодий зоны междуречья составляет 9415,0 тыс. га, в том числе 6598,7 тыс. га пашни. Исследования позволили определить приоритетные направления сельскохозяйственного производства (таблица 4).

Во ВНИИОЗе — филиале ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград) была разработана адаптивно-ландшафтная система орошаемого земледелия (АЛСЗ) для хозяйствующих субъектов Волго-Донского междуречья. Исследования проводились на сельскохозяйственных полях площадью 3644 га, из которых 1379 га были поливными (рисунок 3).

Таблица 3
Table 3

Матрица определения потенциалов плодородия орошаемых агроландшафтов
Matrix for determining fertility potentials of irrigated agricultural landscapes

Потенциалы плодородия			
Климатический	Структурный	Топографический	Гидрологический
Среднегодовая температура воздуха min/max	Количество гумуса	Шкала уклонов: от 0,5 до 25°	Глубина залегания грунтовых вод, наличие токсичных солей.
Количество осадков	Мощность плодородного слоя	Протяжённость и экспозиция склонов	Источник орошения
Продолжительность вегетационного периода	Содержание глины	Изрезанность оврагами	Поверхностный сток
Влажность воздуха	Количество солей	Наличие открытых песков	Гидротермический коэффициент
	Содержание подвижного азота, фосфора, калия		

Таблица 4
Table 4

Направления специализации природных зон Волго-Донского междуречья
Areas of specialization of natural areas of the Volga-Don interfluve

Природные зоны Волго-Донского междуречья	Направления специализации и критерии эффективности
Степная зона черноземных почв	Зернопроизводство, мясо-молочное животноводство. Рентабельность более 60%
Сухостепная зона темно-каштановых почв	Зернопроизводство, кормопроизводство, мясо-молочное животноводство, овощеводство, плодоводство. Рентабельность ≈ 10-50%
Сухостепная зона каштановых почв	
Полупустынная зона светло-каштановых почв	Зернопроизводство, мясное скотоводство, овцеводство. Рентабельность ≈ 15%



Рис. 3. Карта-схема сельскохозяйственных участков ВНИИОЗ — филиала ФГБН «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Волгоград)

Fig. 3. Schematic map of agricultural plots of the VNIIOZ branch of the Federal State Budgetary Institution «FNC VNIIGiM named after A. N. Kostyakov» (Volgograd)



Рис. 4. Блок-схема программно-модульного комплекса ВНИИОЗ
 Fig. 4. Block diagram of the VNIIOZ software and modular complex

Таблица 5
 Table 5

**Информация об адаптивно-ландшафтной системе орошаемого земледелия
 на сельскохозяйственном поле РУ 376 га**
**Information about the adaptive landscape system of irrigated agriculture
 in the agricultural field of RU 376 ha**

Поле РУ 376 га			
Характеристика	Предлагаемые севообороты	Предлагаемые режимы полива	Предлагаемые способы обработки почвы
Светло-каштановые солонцеватые почвы. Среднее содержание: гумуса — 1,56 %, фосфора — 49 мг/1 кг, калия — 342 мг/1 кг. Экологическая емкость — 1180360 МДж/га. Уклоны поверхности — 0,005	<i>Севооборот №1</i> Кукуруза на зерно // Люцерна на з/м Суданка + кукуруза на з/м // Картофель	Регулярное водопообеспечение полей в соответствии с водопотреблением культур под планируемую урожайность, соблюдением экологии	Нулевая обработка // поверхностная обработка // мелкая отвальная или безотвальная обработка // средняя безотвальная обработка // средняя отвальная обработка // глубокая отвальная обработка почвы
	<i>Севооборот №2</i> Люцерна на з/м // Суданка + кукуруза на з/м Кормовые смеси // Картофель		
	<i>Севооборот №3</i> Яровая, озимая пшеница // Кукуруза на зерно. Кормовые смеси // Пожнивные, поукосные на з/м // Картофель		

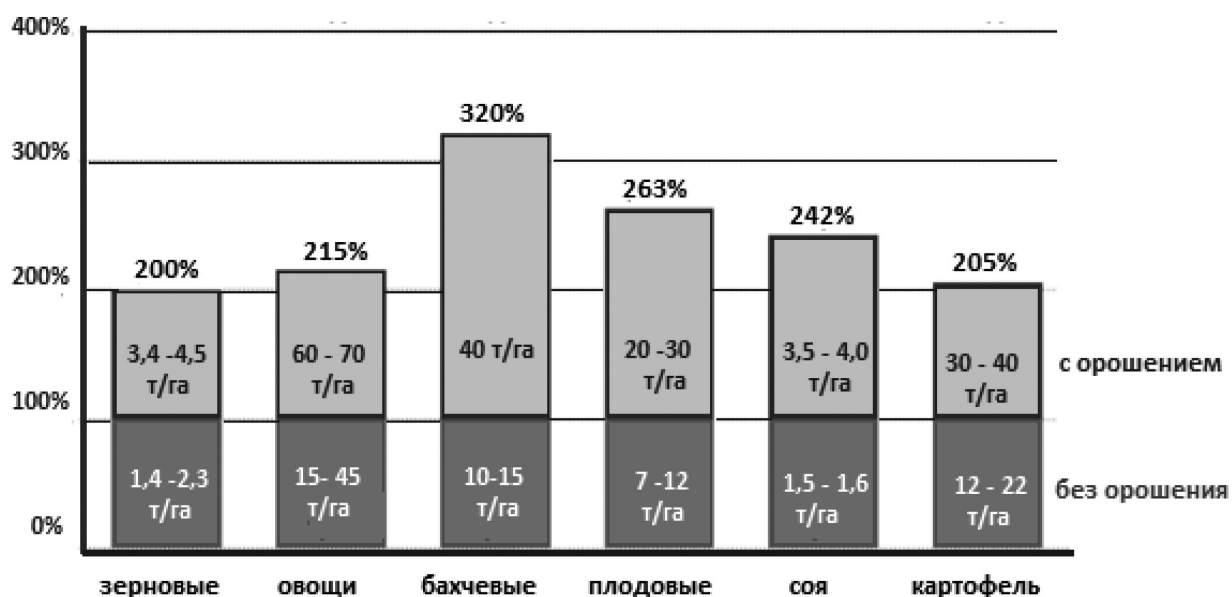


Рис. 5. Эффективность сельскохозяйственного производства при орошении дождеванием
Fig. 5. Efficiency of agricultural production in irrigation by sprinkling

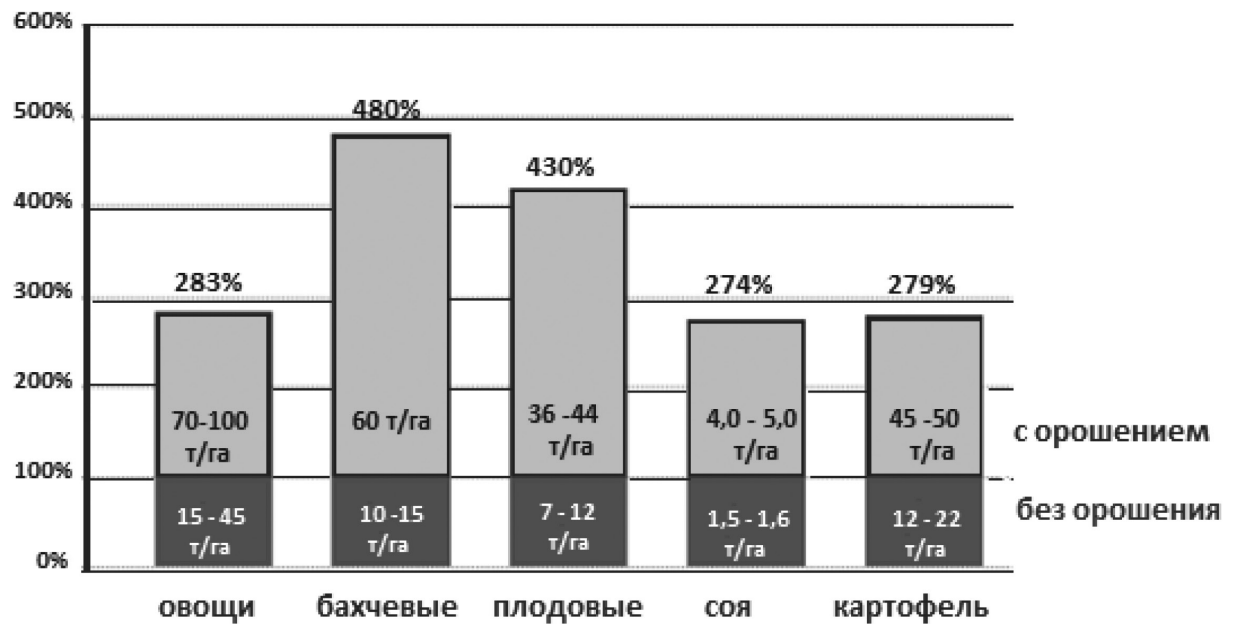


Рис. 6. Эффективность сельскохозяйственного производства при капельном поливе
Fig. 6. Efficiency of agricultural production with drip irrigation

Материал, полученный в ходе исследования, позволил трансформировать знания в программно-модульный комплекс, который способен компилировать информационные потоки двух уровней: первый — от хозяйствующего субъекта; второй — от баз данных, информационно-справочных систем и компьютерных программных средств (рисунок 4).

База данных комплекса включает набор файлов: fed_region.dbf; meteostation.dbf; meteodata.dbf; water.dbf; soil_type.dbf; soil.dbf; me.dbf, sprinkling.dbf; prod_type.dbf; culture.dbf; kt.dbf; evaporation_coef.dbf. Для примера: в базу данных «meteostation.dbf» включена информация, получаемая с зарегистрированной метеостанции в Волгограде №34560; в базу данных «soil.dbf» вошли материалы, отражающие типы и подтипы почв; в базу данных «culture.dbf» — информация об основных культурах, сортах и гибридах, районированных в регионе. Гибкость баз данных позволяет моделировать АЛСЗ под запросы хозяйствующих субъектов. Разработанный модуль позволяет решать следующие задачи: внесение информации в базы данных, обеспечение сохранности, визуализацию и экспорт необходимой информации. Внесенные данные автоматически сравниваются с нормативными значениями, при завершении

загрузки на интерфейсе появляется таблица с выходными данными. При прогнозировании сельскохозяйственных работ в модуль вносятся данные о пашне (га), сельскохозяйственных культурах, материально-денежных потоках (тыс. руб.). В состав модуля входят авторские программы для ЭВМ, в их числе прогнозирование продуктивности раннего картофеля на капельном орошении. Информация модуля позволяет сгруппировать исходную информацию под рабочие участки, в таблице 5 — один из примеров. Программный комплекс позволил рассчитать эффективность производства при использовании разных типов полива (рисунки 5, 6) [23].

Заключение. Многолетний опыт показывает, что повысить эффективность сельскохозяйственного производства возможно на основе широкого внедрения инноваций и цифровых технологий. Киберэкономическое моделирование процессов, протекающих в агроландшафтах, позволяет обосновать адаптивно-ландшафтные системы земледелия, комплексные мелиорации. Сформированные концептуально-методологические основы орошаемых ландшафтов и когнитивно-математическая модель региональных систем орошаемого земледелия позволили: выделить в пространственной структуре степной

зоны сетевого агроландшафта интенсивного промышленного садоводства, обосновать применение программно-модульных комплексов в орошаемом земледелии, определить эффективность разных типов полива (повысить продуктивность кормовых культур с 2,9 до 7,0 тонн к.е. на 1 га, овощных — с 20,0 т/га до 40,0 т/га, плодовых культур — с 10,0 т/га до 35 т/га). Перед наукой стоит задача — обосновать необходимые площади орошаемых земель, перед практиками (сельхозтоваропроизводителями) — ввести в сельскохозяйственный оборот новые орошаемые площади в степной зоне России.

Список источников

1. Айдаров И. П., Краснощеков В. Н. Методология оценки экономической эффективности природообустройства агроландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. №5. С. 40–47.
2. Боровой С. Е., Комарова О. П., Козенко К. Ю. Киберфизические системы в мониторинге орошаемых агроценозов // Известия НВ АУК. 2023. №2. С. 552–562.
3. Власов М. В., Куприянова С. В. Комплексный подход к определению эффективности реконструкции оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. №2(34). С. 185–200.
4. Горохова И. Н., Панкова Е. И. Методические подходы к оценке состояния орошаемых земель сухостепной зоны Волгоградской области с использованием космических снимков // Экосистемы: экология и динамика. 2023. №1. С. 5–37.
5. Гурина И. В. Стратегическая платформа преобразований в агропромышленном комплексе в условиях меняющейся внешней среды // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (Курган, 20 января 2022 г.). Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева (Лесниково), 2022. С. 141–144.
6. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь // Избранные сочинения. М.: Сельхозиздат, 1954. С. 449–513.
7. Завражнов А. А., Завражнов А. И., Мишин Б. С. Математическое моделирование урожайности и динамики развития промышленных садов интенсивного и суперинтенсивного типа // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №6. С. 68–75.
8. Иванов А. Л., Кулик К. Н., Барабанов А. Т. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года. Волгоград: Нива, 2009. 215 с.
9. Методика разработки систем земледелия на ландшафтной основе // А. Н. Каштанов, А. П. Щербаков, В. М. Володин, Г. И. Бахирев и др. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1996. 132 с.
10. Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.
11. Конаш В. В. Онтология мелиоративного комплекса Российской Федерации // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата. Материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции (Новочеркасск, 24–26 апреля 2023 г.). Новочеркасск: ЛИК, 2023. С. 23–29.
12. Кружилин И. П. Мелиорация и использование орошаемых земель степной зоны. М.: Агропромиздат, 1988. 240 с.
13. Кулик К. Н., Ткаченко Н. А., Кошелёв В. В. Использование ГИС-технологий при оценке антропогенной нагрузки на агроландшафты Волгоградского Заволжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. №2. С. 161–163.
14. Медведева Л. Н. Стратегемы идеального орошаемого земледелия // Агролесомелиорация и защитное лесоразведение — история и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Волгоград, 19–21 октября 2023 г.). Волгоград: ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН», 2023. С. 209–212.
15. Мелихов В. В. Мелиорация земель: стратегия на перспективу // Орошаемое земледелие. 2019. №3. С. 6–7.
16. Мильков Ф. Н. Сельскохозяйственные ландшафты, их специфика и классификация // Вопросы географии. 1984. №124. С. 24–31.
17. Николаев В. А. Концепция агроландшафта // Вестник Московского университета. География. Серия 5. 1987. №2. С. 22–27.

18. Рогачёв А. Ф., Медведев А. В., Медведева Л. Н., Куприянова С. В. Экономико-математическое моделирование и обоснование рационального землепользования в агроландшафтах юга // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. №2(30). С. 186–208.

19. Сизов Ю. И. Природные и мелиоративные концепции формирования агроландшафтов // Орошаемое земледелие. 2022. №4. С. 62–67.

20. Соколов А. А., Руднева О. С. Степное пространство России: экономико-географический обзор // Известия Саратовского университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 17. С. 87–94.

21. Шевченко В. А., Щедрин В. Н., Куприянова С. В. Задачи и проблемы восстановления оросительных мелиораций на Юге России // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. №3. С. 28–32.

22. Юртаев А. А. Агроландшафтные исследования: теория и практика // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2011. №15(110). С. 217–221.

23. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture — An actor in the development of a green economy // AIP Conference Proceedings. 2022. №2650. P. 030019.

24. Shchedrin V. N., Vasilyev S. M., Kolganov A. V., Kupriyanov A. A. Meliorative institutional environment: The area of state interests // Espacios. 2018. Vol. 39. Pp. 28–36.

References

1. Ajdarov I. P., Krasnoshhekov V. N. Metodologija ocenki jekonomicheskoj jeffektivnosti prirodooobustrojstva agrolandschaftov [Methodology for assessing the economic efficiency of environmental management of agricultural landscapes]. *Melioracija i vodnoe hozjajstvo* [Melioration and water management]. 2005; (5): 40–47. (In Russ.).

2. Borovoj S. E., Komarova O. P., Kozenko K. Ju. Kiberfizicheskie sistemy v monitoringe oroshaemyh agrocenozov [Cyberphysical systems in monitoring irrigated agrocenoses]. *Izvestija NVAUK* [News of NVAUK]. 2023; (2): 552–562. (In Russ.).

3. Vlasov M. V., Kuprijanova S. V. Kompleksnyj podhod k opredeleniju jeffektivnosti re-

konstrukcii orositel'nyh sistem [An integrated approach to determining the effectiveness of reconstruction of irrigation systems]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii* [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. 2019; 2(34): 185–200. (In Russ.).

4. Gorohova I. N., Pankova E. I. Metodicheskie podhody k ocenke sostojanija oroshaemyh zemel' suhostepnoj zony Volgogradskoj oblasti s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov [Methodological approaches to assessing the condition of irrigated lands of the dry steppe zone of the Volgograd region using satellite images]. *Jekosistemy: jekologija i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics]. 2023; (1): 5–37. (In Russ.).

5. Gurina I. V. Strategicheskaja platforma preobrazovanij v agropromyshlennom komplekse v uslovijah menjajushhejsja vneshnej sredy [Strategic platform of transformations in the agro-industrial complex in a changing external environment]. *Innovacii i sovremennye tehnologii v proizvodstve i pererabotke sel'skohozjajstvennoj produkcii. Sbornik statej po materialam Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii (Kurgan, 20 janvarja 2022 g.)* [Innovations and modern technologies in the production and processing of agricultural products. Collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference (Kurgan, January 20, 2022)]. Kurgan: Kurganskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija im. T. S. Mal'ceva (Lesnikovo), 2022. Pp. 141–144. (In Russ.).

6. Dokuchaev V. V. Nashi stepi prezhde i teper' [Our steppes ahead and beyond]. *Izbrannye sochinenija* [Selected works]. Moscow: Sel'hozizdat, 1954. Pp. 449–513. (In Russ.).

7. Zavrzhnov A. A., Zavrzhnov A. I., Mishin B. S. Matematicheskoe modelirovanie urozhajnosti i dinamiki razvitija promyshlennyh sadov intensivnogo i superintensivnogo tipa [Mathematical modeling of productivity and dynamics of development of industrial gardens of intensive and superintensive type]. *Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka* [Russian Agricultural Science]. 2021; (6): 68–75. (In Russ.).

8. Ivanov A. L., Kulik K. N., Barabanov A. T. Sistema adaptivno-landshaftnogo zemledelija Volgogradskoj oblasti na period do 2015 goda [The system of adaptive landscape agriculture of

the Volgograd region for the period up to 2015]. Volgograd: Niva, 2009. 215 p. (In Russ.).

9. Metodika razrabotki sistem zemledelija na landshaftnoj osnove [Methodology for the development of farming systems on a landscape basis]. A. N. Kashtanov, A. P. Shherbakov, V. M. Volodin, G. I. Bahirev et al. Kursk: VNIIZ-iZPJe, 1996. 132 p. (In Russ.). (In Russ.).

10. Kirjushin V. I. Teorija adaptivno-landshaftnogo zemledelija i proektirovanie agrolandshaftov [Theory of adaptive landscape farming and design of agricultural landscapes]. Moscow: KolosS, 2011. 443 p. (In Russ.).

11. Konash V. V. Ontologija meliorativnogo kompleksa Rossijskoj Federacii [Ontology of the meliorative complex of the Russian Federation]. Melioracija kak drajver modernizacii APK v uslovijah izmenenija klimata. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj internet-konferencii (Novocherkassk, 24–26 aprlja 2023 g.) [Melioration as a driver of modernization of agriculture in the context of climate change. Materials of the IV International Scientific and Practical Internet Conference (Novocherkassk, April 24–26, 2023)]. Novocherkassk: LIK, 2023. Pp. 23–29. (In Russ.).

12. Kruzhilin I. P. Melioracija i ispol'zovanie oroshaemyh zemel' stepnoj zony [Melioration and use of irrigated lands of the steppe zone]. Moscow: Agropromizdat, 1988. 240 p. (In Russ.).

13. Kulik K. N., Tkachenko N. A., Koshelev V. V. Ispol'zovanie GIS-tehnologij pri ocenke antropogennoj nagruzki na agrolandshafty Volgogradskogo Zavolzh'ja [The use of GIS technologies in assessing the anthropogenic load on the agro-landscapes of the Volgograd Volga region]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. 2015; (2): 161–163. (In Russ.).

14. Medvedeva L. N. Stratagemy ideal'nogo oroshaemogo zemledelija [Stratagems of ideal irrigated agriculture]. Agrolesomelioracija i zashhitnoe lesorazvedenie — istorija i perspektivy razvitija. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Volgograd, 19–21 oktjabrja 2023 g.) [Agroforestry and protective afforestation — history and prospects of development. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Volgograd, October 19–21, 2023)]. Volgograd: FGBNU «FNC agrotehnologii, kompleksnyh melioracij i zashhitno-

go lesorazvedenija RAN», 2023. Pp. 209–212. (In Russ.).

15. Melihov V. V. Melioracija zemel': strategija na perspektivu [Land reclamation: a strategy for the future]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated agriculture]. 2019. №3. Pp. 6–7. (In Russ.).

16. Mil'kov F. N. Sel'skohozjajstvennyje landshafty, ih specifika i klassifikacija [Agricultural landscapes, their specificity and classification]. *Voprosy geografii* [Questions of geography]. 1984; (124): 24–31. (In Russ.).

17. Nikolaev V. A. Konceptcija agrolandshafta [The Concept of the Agricultural Landscape]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografija. Serija 5* [Bulletin of the Moscow University. Geography. Series 5]. 1987; (2): 22–27. (In Russ.).

18. Rogachjov A. F., Medvedev A. V., Medvedeva L. N., Kuprijanova S. V. Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie i obosnovanie racional'nogo zemlepol'zovanija v agrolandshaftah juga [Economic and mathematical modeling and justification of rational land use in agricultural landscapes of the South]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii* [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. 2018; 2(30): 186–208. (In Russ.).

19. Sizov Ju. I. Prirodnye i meliorativnyje koncepcii formirovanija agrolandshaftov [Natural and meliorative concepts of the formation of agricultural landscapes]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated agriculture]. 2022; (4): 62–67. (In Russ.).

20. Sokolov A. A., Rudneva O. S. Stepnoe prostranstvo Rossii: jekonomiko-geograficheskij obzor [Steppe space of Russia: economic and geographical review]. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Serija: Nauki o Zemle* [News of Saratov University. Series: Earth Science]. 2017; (17): 87–94. (In Russ.).

21. Shevchenko V. A., Shhedrin V. N., Kuprijanova S. V. Zadachi i problemy vosstanovlenija orositel'nyh melioracij na Juge Rossii [Tasks and problems of restoration of irrigation reclamation in the south of Russia]. *Melioracija i vodnoe hozjajstvo* [Melioration and water management]. 2023; (3): 28–32. (In Russ.).

22. Jurtaev A. A. Agrolandshaftnye issledovanija: teorija i praktika [Agro-landscape research: theory and practice]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific bulletin of the Belgorod State University]. 2011; 15(110): 217–221. (In Russ.).

23. Roiss O., Medvedeva L. Innovation in agriculture — An actor in the development of a green economy. *AIP Conference Proceedings*. 2022; (2650): 030019.

24. Shchedrin V.N., Vasilyev S.M., Kolganov A.V., Kupriyanov A.A. Meliorative institutional environment: The area of state interests. *Espacios*. 2018; (39): 28–36.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 10.04.2024.
The article was submitted on 06.03.2024; approved after reviewing on 22.03.2024; accepted for publication on 10.04.2024.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Медведева Людмила Николаевна — доктор экономических наук, профессор, Волжский политехнический институт (филиал), Волгоградский государственный технический университет; ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия.

Россия, г. Волжский, пр. им. Ленина, 72

Lyudmila N. Medvedeva — Doctor of Economics Sciences, Professor, Docent, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University; Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture.

72 Lenina ave., Volzhskiy, Russia



Пахомова Антонина Александровна — доктор экономических наук, профессор кафедры «Производственный и инновационный менеджмент» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ).

Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Antonina A. Pakhomova — Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department «Production and Innovation Management», Platov South Russian State Polytechnic University (NPI).

132 Prosveshcheniya str., Novochoerkassk, Russia

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.