

3. Borodychev, V.V. Ecosystem monitoring of water resources and reclamation facilities / V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov, A.A. Dedov // Russian agricultural Science. - 2017. - No. 3 - pp. 56-61.
4. Water strategy of the agro-industrial complex of Russia for the period up to 2020 / B.M. Kizyaev, S.Ya. Bezdmina. - M.: VNIIA Publishing House, 2009 - 72 p.
5. Dedova, E.B. Characteristics of the water resources of the Republic of Kalmykia and ways of their rational use for the needs of the agro-industrial complex / E.B. Dedova, M.A. Sazanov, S.I. Kovrigo // Mat. international scientific conference "Ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of modern reclamation technologies". - Ryazan: FGBOU VPO RGATU, 2014. - Issue 6 /under the general editorship of Yu.A. Mazhaysky. - pp. 256-260.
6. Dedova, E.B. Methodological provisions for the creation of integrated monitoring of water resources and meliorative systems of the Republic of Kalmykia / E.B. Dedova, N.N. Dubenok, V.V. Borodychev, S.D. Isaeva, M.A. Sazanov. – Moscow, 2017. - 97 p.
7. Ivanova, V. I. Qualitative indicators of irrigation waters of the Pravo-Egorlyk irrigation system / V. I. Ivanova // The role of land reclamation in ensuring food security. – Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 2022. - pp. 186-192.
8. Ovchinnikov, A.S. Monitoring of water resources of the Republic of Kalmykia and problems of ecosystem water use in the agro-industrial complex / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov // Izvestiya Nizhnevolszhsy agrouniversity complex. - 2015. - № 3(39). - Pp. 9-19.
9. Rudneva, L.V. Qualitative indicators of irrigation waters of Kalmykia / L.V. Rudneva, O.V. Demkin, M.A. Sazanov, V.F. Shmatkin, E.B. Dedova // Protection of the soils of Kalmykia and adjacent territories. – Elista, 2003. - Issue 2. - pp. 163-165.
10. Technical and operational map of the meliorative system [2020] // Information portal of the Federal State Budgetary Scientific Research Institute "Raduga" [Electronic resource]. URL: https://inform-raduga.ru/gts/78728?report=tek¤t_id=143891 (date of application: 10/31/2023).

УДК 631.6

DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.50.68.045

МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Медведева Л.Н., доктор экономических наук, доцент
ВНИИОЗ, филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»,
г. Волгоград, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье представлены аналитические материалы и экономико-математические расчеты, отражающие использование водных ресурсов в мелиорации. Проанализированы данные по использованию «зеленой» и «голубой» воды в мировой экономике, обозначены точки напряженности, вызванные ростом населения, изменением климата; выстроены векторы применения природосберегающих технологий в мелиоративном комплексе на Юге России.*

***Ключевые слова:** регион, экономико-математические модели, природная вода, оросительные системы, дождевальные машины*

MULTI-FACTOR ASSESSMENT OF IRRIGATION SYSTEMS, ALLOWING EFFECTIVE USE OF WATER RESOURCES

Medvedeva L.N., Doctor of Economics, Associate Professor
Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Volgograd, Russia

Abstract. *The article presents analytical materials and economic and mathematical calculations reflecting the use of water resources in land reclamation. Data on the use of “green” and “blue” water in the global economy are analyzed, points of tension caused by population growth and climate change are identified; vectors for the use of environmentally friendly technologies in the reclamation complex in the South of Russia have been built.*

Keywords: *region, economic and mathematical models, natural water, irrigation systems, sprinklers*

Введение. Землю обычно называют «голубой планетой» вследствие того, что большая часть её поверхности покрыта водной гладью (до 75%), однако более 90% этой воды является соленой и минерализованной, мало пригодной для жизни. Потребление воды в мировой экономике растет в геометрической прогрессии, опережая рост населения планеты в 2 раза, что делает необходимым использовать «зеленую» (поверхностную) и «голубую» (подземную) воды достаточно рачительно и экономно. Чтобы предупредить грядущие катастрофические последствия и «удовлетворить растущие потребности государств - членов ООН и международного сообщества в более полной информации об использовании водными ресурсами» организация ЮНЕСКО инициировала принятие «Программы по оценке водных ресурсов» (WWAP, <http://www.unesco.org/en/wwap>). Изменение климата повлияло на доступность, качество и количество воды, а изменение водного цикла создало риски для производства энергии, сельскохозяйственной продукции. Имеющиеся, в распоряжении человечества гидроресурсы не отвечают возрастающим потребностям (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по общему потреблению природной воды, 2000 г.

Страна	Потребление воды всего, на душу населения
Австралия	24.06 км ³ /в год, на душу населения: 1,193 м ³ /в год
Бразилия	59.3 км ³ /в год, на душу населения: 318 м ³ /в год
Канада	44.72 км ³ /в год, на душу населения: 1,386 м ³ /в год
Китай	549.76 км ³ /в год, на душу населения: 415 м ³ /в год
Египет	68.3 км ³ /в год, на душу населения: 923 м ³ /в год
Франция	33.16 км ³ /в год, на душу населения: 548 м ³ /в год
Германия	38.01 км ³ /в год, на душу населения: 460 м ³ /в год
Индия	645.84 км ³ /в год, на душу населения: 585 м ³ /в год
Россия	76.68 км ³ /в год, на душу населения: 535 м ³ /в год
США	477.0 км ³ /в год, на душу населения: 1,600 м ³ /в год

Источник: <http://www.demoscope.ru>

Материалы и методы. Методологическую базу исследования составили методы: статистические, экономико-математические, природно-аналитические.

При решении поставленных задач, применялись прикладные программы Microsoft Excel, Статистика. Эмпирическую базу исследования составили материалы МСХ РФ, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Волгоград, Россия

Обсуждение. Важное место в развитии сельского хозяйства на Юге России занимает мелиоративный комплекс, который обслуживает – 1568,38 тыс. га, из них: 1513,81 тыс. га орошаемых земель, 54,568 тыс. га осушенных (таблица 2).

Таблица 2 – Состояние мелиорированных земель в ЮФО, %, 2021 г

Регион	Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительно
ЮФО – всего	54,4	27,4	18,0
Астраханская область	19,7	44,1	36,1
Волгоградская область	74,7	12,2	13,1
Краснодарский край	74,4	14,2	11,5
Республика Адыгея	73,4	20,9	5,7
Республика Калмыкия	1,8	37,7	60,4
Республика Крым	45,0	45,1	8,8
Ростовская область	69,1	11,1	19,7
г. Севастополь	58,9	37,7	2,3

Вопросам развития мелиорации южных регионов России посвящены работы: М.С. Григорова, Б.М. Кизяева, И.П. Кружилина, В.В. Мелихова, В.И. Ольгаренко, Б.Б. Шумакова и В.Н. Щедрина [2,3,4,8]. Проведенный анализ показывает, что высокой водообеспеченностью водными ресурсами обладают Астраханская и Волгоградская области. В Республике Дагестан и Краснодарском крае значительная доля природной воды – 70,7% и 78,3%, используется в сельском хозяйстве и обводнении населенных пунктов. В Ставропольском крае – 62,4% и Ростовской области – 46,6% [8,9,10]. Важное значение имеет эффективное функционирование *оросительных систем (ОС), которые имеют:* источник орошения (водоем, грунтовые воды), головное сооружение, главный оросительный и распределительные каналы, внутривозделные каналы, насосные и дождевальные машины, сбросные и дренажные сети, искусственные сооружения для регулирования воды, датчики контроля, ВИЭ (рисунок 1) [1,3,5].

Все оросительные системы начинаются с водозаборных зон. Существующие методы расчета стратифицированных водозаборов учитывают параметры воды в зависимости от глубины (температура, плотность, концентрация растворенных и взвешенных веществ, др.). Учитывая меняющийся климат, уменьшение водности рек особую актуальность приобретают вопросы совершенствования конструкций водозаборов, которые позволили бы обеспечить устойчивый водозабор, как во время прохождения паводков, так в период цветения синезеленых водорослей. Обычно водозаборные сооружения на оросительных каналах и водоемах выполняются из сборного монолитного железобетона со слоем воды не менее 1,2...1,5 м. Многолетние исследования, проводимые в Волгограде по культивированию штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, показали, что при достижении плотности клеток в культуре более

10 млн/мл, проявляются хорошо выраженные антагонистические свойства к альгофлоре. Для расчёта параметров вселения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 водоемы могут применяться программы для ЭВМ «Система искусственного интеллекта для альголизации пресноводных водоемов Юга России штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в расчете на площадь водного зеркала» (правообладатель ФГБНУ ВНИИОЗ № 2021617064 от 06.05.2021); «Моделирование параметров процесса альголизации водоема на основе определения степени адаптации *Chlorella Vulgaris* к воде природных и искусственных водоемов» (правообладатель ФГБНУ ВНИИОЗ № 2021680606 от 13.12.2021) (рисунок 2).



Рисунок 1 – Типовая оросительная система с ШДМ



Рисунок 2 – Патент на «Плавсредство для мониторинга природных и искусственных водоемов» и Свидетельство на программу для ЭВМ

Разработанная программа для ЭВМ «Нейросеть PERCEPTRON мониторинга и биоремедиации природной воды для орошения», предназначена для определения уровня опасности природной воды для орошения и проведения биоремедиации по повышению качества воды. Эффективность работы трубопроводов ОС можно определить путем суммирования эффективности основных элементов j -ого участка ОС по формуле:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n K_{Гi} \varphi_i, \quad (1)$$

где: E_i – эффективность функционирования i -го выходного элемента;

$K_{Гi}$ – коэффициент готовности i -го выходного элемента;

φ_i – производительность i -го выходного элемента.

В качестве показателя эффективности ОС может выступать коэффициент сохранения – эффективности ($KСЭ$), который является отношением значения показателя эффективности функционирования за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя:

$$KСЭ = \frac{E}{E_0} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Гi} \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_{i0}}. \quad (2)$$

Из выражения (2) можно сделать вывод, что в случае идентичных исполнительных элементов (равенство по производительности), $\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_n$, приведет к равенству показателей надежности элементов каждого участка:

$$KСЭ = K_{Гi} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_{Гi}} - 1 \right)}. \quad (3)$$

Оросительная система, состоящая из элементов, соединенных между собой как последовательно, так и параллельно, относится к весьма сложным системам, и выход из строя хотя бы одного составного элемента – снижает эксплуатационную эффективность:

$$P_{зрк} = \frac{100\%}{n_{рк}}, \quad (4)$$

где: $P_{зрк}$ – показатель эксплуатационного влияния распределительного канала;

$n_{рк}$ – количество распределительных каналов в ОС.

Уровень влияния межхозяйственных каналов определяется из отношения:

$$P_{змх} = \frac{P_{зрк}}{n_{мх}}, \quad (5)$$

где: $P_{змх}$ – показатель эксплуатационного влияния межхозяйственного канала;

$n_{мх}$ – количество межхозяйственных каналов в ОС.

Перевод внутривозвратной сети из земляного русла в трубопроводы позволяет повысить КПД ОС до 0,95-0,98. Для эффективного распределения воды во внутривозвратной сети необходимо обеспечить работу водовыпусков и сетевых гидротехнических сооружений из расчета: 40-50 на 1000 га. Параметры оросительной и сопутствующей дренажно-коллекторной систем тесно связаны между собой через водно-солевой, тепловой и питательный режимы агроландшафтов, что делает необходимым проведение биосферного мониторинга (таблица 3) [3,7].

Таблица 3 – Основные технические требования к оросительным системам

Показатель	Значение
Коэффициент полезного действия сети КПД:	не менее
- с каналами в земляном русле	0,80
- с облицованными каналами	0,85
- с внутривозвратной сетью в лотках	0,85
- с внутривозвратной сетью в трубах	0,90
Глубина залегания грунтовых вод, м	более 1,5-3,5
Уровень автоматизации системы, %	не менее 70
Коэффициент использования воды на поле (КИВ)	не менее 0,8-0,95
Коэффициент земельного использования (КЗИ)	0,93-0,97
Количество сооружений на 1000 га	не менее 40 -50
Удельная протяженность трубопроводов, м/га	20-35
Показатель эксплуатационной надежности	не менее 0,90
Показатель обеспечения заданных гидромодулей	не менее 0,90

Для стабильного функционирования ОС необходимо учитывать возможности сельхозтоваропроизводителей по эксплуатации дождевальных машин (ДМ). Современные высокотехнологичные ДМ в автоматическом режиме могут «держат» режим водопотребления от нуля до нескольких сотен литров в секунду, что отражается на режиме работы всей водораспределительной системы [1,5]. Расход воды на оросителе определяется не максимальной производительностью ее водозаборной установки $Q_{\text{дм, max}}$, а суммой расходов открытых дождевателей, который вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{дм, i}} = \sum_{j=1}^n q_j, \quad (6)$$

где: $Q_{\text{дм, i}}$ – фактический расход, забираемый ДМ из оросителя на n -й позиции, л/с;

i – номер позиции ДМ на оросителе;

n – количество одновременно работающих дождевателей, шт.;

q – расход одного работающего дождевателя, л/с.

При эксплуатации широкозахватных дождевальных машин должны соблюдаться следующие требования: глубина залегания грунтовых вод в весенне-летний период: пресных не менее 1,5 м, слабо- и среднеминерализованных – не менее 2,5 м; минерализация оросительной воды до 1 г/л, наличие взвешенных твердых частиц не более 0,5 мм; скорость ветра на высоте 2 м не более 10 м/с по многолетнему ряду наблюдений на метеостанции;

температура окружающего воздуха во время работы машины не ниже $+5-7^{\circ}\text{C}$. Автоматизация управления водораспределением позволяет соблюдать в оросителе расчетный расход $Q_{\text{ор, расч}}$, который обеспечивает максимальную производительность ДМ $Q_{\text{дм, max}}$, меньший расход воды $Q_{\text{дм, i}}$ (рисунок 4).

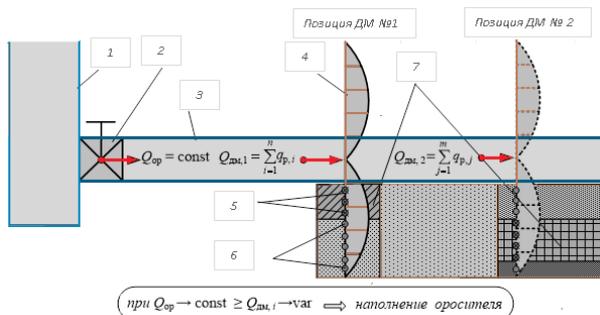


Рисунок 4 – Схема взаимодействия открытой водораспределительной сети с дождевальными машинами фронтального типа:

1 – распределительный канал; 2 – водовыведел; 3 – ороситель; 4 – дождевальная машина; 5 – дождеватели неработающие; 6 – дождеватели работающие; 7 – участок водоподачи

Выводы. По результатам проведенного исследования предлагается продолжить мониторинг состояния оросительных систем, использовать для этих целей цифровые технологии. Для ускорения строительства и реновации оросительных систем целесообразно применять механизм государственно-частного партнерства, развитие мелиоративных парков и водных кооперативов. Требуется приложить максимум усилий, чтобы изменить отношение сельхозтоваропроизводителей к воде, наладить применение ресурсосберегающих технологий и учета водных ресурсов. Мелиоративный комплекс на Юге России является стратегическим ресурсом в обеспечении Продовольственной безопасности.

Список использованных источников

- ГОСТ 26967-86 Гидромелиорация. Термины и определения. Введ. 01.01.1987 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009521>, 2019, (дата обращения: 15.08.2023).
- Мелихов, В. В. Мелиорация земель: стратегия на перспективу / В.В. Мелихов // Орошаемое земледелие. – 2019. – №3. – С. 6 -7.
- Методические рекомендации по проектированию и эксплуатации оросительных систем с широкозахватными дождевальными машинами. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 88 с.
- Кирейчева, Л.В. Теоретические подходы к обоснованию систем комплексных мелиораций / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – №5. – С. 30 – 35.
- Кружилин И.П. Орошение – гарант устойчивого земледелия в засушливых зонах России / И.П. Кружилин // Вестник Россельхозакадемии. – 2000. – № 5. – С. 17-21.

6. Ольгаренко, Г.В. Концепция государственной программы «Восстановление и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2020-2030 годов» / Г.В. Ольгаренко, С.М. Васильев, Г.Т. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. – 129 с.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации». Режим доступа: <http://static.government.ru/> (дата обращения: 25.07.2023).
8. Сизов, Ю.И. Природные и мелиоративные концепции формирования агроландшафтов / Ю.И. Сизов // *Орошаемое земледелие*. – 2022. – № 4. – С. 62-67.
9. Щедрин, В.Н. Стратегический подход к развитию мелиорации в условиях меняющегося климата / В.Н. Щедрин, Р.С. Масный, С.А. Манжина, С.В. Куприянова // *Мелиорация и водное хозяйство*. – 2022. – № 2. – С. 11-17.
10. Meliorative institutional environment: The area of state interests / Shchedrin V.N., Vasilyev S. M., Kolganov A. V., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A. // *Espacios*. – 2018. – Vol. 39. – Pp. 28-36.

References

1. GOST 26967-86 Hydraulic reclamation. Terms and definitions. Introduction. 01.01.1987 [electronic resource]. – Access mode: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009521>, 2019, (date of reference: 08/15/2023).
2. Melikhov, V. V. Land reclamation: a strategy for the future / V.V. Melikhov // *Irrigated agriculture*. – 2019. – No.3.– pp. 6-7.
3. Methodological recommendations for the design and operation of irrigation systems with wide-reach sprinkler machines. Kolonna: IP Vorobyov O.M., 2015. – 88 p.
4. Kireicheva, L.V. Theoretical approaches to the substantiation of complex land reclamation systems / L.V. Kireicheva, V.M. Yashin // *Melioration and water management*. – 2019. – No.5. – pp. 30-35.
5. Kruzhillin I.P. Irrigation – the guarantor of sustainable agriculture in arid zones of Russia / I.P. Kruzhillin // *Bulletin of the Russian Agricultural Academy*. – 2000. – No. 5.– pp. 17-21.
6. Olgarenko, G.V. The concept of the state program "Restoration and development of the reclamation complex of the Russian Federation for the period 2020-2030" / G.V. Olgarenko, S.M. Vasiliev, G.T. Balakai. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2019. – 129 p.
7. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 731 dated May 14, 2021 "On the State Program for effective involvement in the turnover of agricultural land and the development of the reclamation complex of the Russian Federation". Access mode: <http://static.government.ru/> (date of reference: 07/25/2023).
8. Sizov, Yu.I. Natural and reclamation concepts of the formation of agricultural landscapes / Yu.I. Sizov // *Irrigated agriculture*. - 2022. – No. 4. – pp. 62-67.
9. Shchedrin, V.N. Strategic approach to the development of land reclamation in a changing climate / V.N. Shchedrin, R.S. Masny, S.A. Manzhina, S.V. Kupriyanova // *Melioration and water management*. – 2022. – No. 2. – pp. 11-17.
10. Meliorative institutional environment: The area of state interests / Shchedrin V.N., Vasilyev S. M., Kolganov A. V., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A. // *Espacios*. – 2018. – Vol. 39. – pp. 28-36.