



Учредители:

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,
ФГБНУ ВНИИ «Радуга», АНО «Редакция журнала
«Мелиорация и водное хозяйство»

Издается с апреля 1949 года

МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

12+

№ 1

январь—февраль

2026

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРОТЕХНИКА, ГИДРАВЛИКА

Грушин А.В., Коломеец А.В. Гидравлический расчет питающего трубопровода автоматизированной системы орошения рассадных теплиц 2

Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И., Белов И.В., Гавриловская Н.В. Исследования бетонных смесей для восстановления защитных покрытий мелиоративных оросительных каналов 4

Сорока В.В., Турапин С.С., Качаев А.Е. Верификация устойчивости грунтовых откосов при оценке их безопасности численными методами 7

Куприянов Д.Е., Пилипенко Т.В., Ефременко Д.А., Глистин М.В. Особенности безопасной эксплуатации Кучукского гидроузла в условиях воздействия агрессивных вод 11

Толкачев Г.Ю., Самарин Е.Н., Ильина Т.А., Корженевский Б.И. Особенности загрязнения тяжелыми металлами донных отложений и водной растительности в Ивановском водохранилище 14

МЕЛИОРАТИВНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Бадмаева С.Э. Свойства пойменных мелиорируемых земель 18

МЕЛИОРАЦИЯ И КОРМОВАЯ БАЗА

Абдразаков Ф.К., Шадьяров Т.М., Онаев М.К. Залог обеспечения водой пастбищ отгонного животноводства Западно-Казахстанской области 22

НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Буряк С.М., Беденко А.Е., Миронов Д.С. Эффективность использования мелиорируемых земель на основе данных дистанционного зондирования земли 27

Вершинин В.В., Руда И.Г. Научно-практический анализ рекультивации нарушенных земель 31

ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Кантеев К.К. Особенности и условия работы бесфильтровых скважин 36

ИНФОРМАЦИЯ

100-летие мелиорации Ленинградской области 40

ВолжНИИГиМ: 60 лет на службе мелиорации

Поволжья 43

CONTENTS

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS

Grushin A.V., Kolomeets A.V. Hydraulic calculation of the supply piping of the automated irrigation system of the growing herrings 2

Abdulmashidov Kh.A., Balabanov V.I., Belov I.V., Gavrilovskaya N.V. Studies of concrete mixtures for the restoration of protective coatings of reclamation irrigation canals 4

Soroka V.V., Kachaev A.E., Turapin S.S. Verification of the stability of soil slopes when assessing their safety using numerical methods 7

Kupriyanov D.E., Pipipenko T.V., Efremenko D.A., Glistin M.V. Features of safe operation of the Kuchuk hydroelectric complex under the influence of aggressive waters 11

Tolkachev G. Yu., Samarina E.N., Il'yina T.A., Korzhenevskiy B.I. Main features of heavy metal pollution of sediments and aquatic vegetation in the Ivan'kovo reservoir 14

RECLAMATION AGRICULTURE

Badmaeva S.E. Operties of floodplain reclaimed lands 18

LAND RECLAMATION AND FODDER BASE

Abdrzakov F.K., Shadyarov T.M., Onaev M.K. Water supply guarantee for grazing land in the Western Kazakhstan region 22

SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION

Buryak S.M., Bedenko A.E., Mironov D.S. Effectiveness of the use of reclaimed lands based on remote sensing data . . . 27

Vershinin V.V., Ruda I.G. Some theoretical and practical aspects of recultivation of disturbed land 31

OPERATION OF MELIORATIVE SYSTEMS

Kanteev K.K. Features end operating conditions of filterless wells 36

INFORMATION

100th anniversary of land reclamation of the Leningrad region 40

VolzhNIIGiM: 60 years in the service of the Volga land reclamation 43

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-61128 от 03.04.2015.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), полные тексты статей доступны на сайте <https://elibrary.ru>.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 6,05. Тираж 1000 экз.

Верстка Т.Б. Самсонова

Адрес редакции: 127550, Москва, Б. Академическая, д. 44, корп. 2.

Тел./факс (499) 976-02-71. E-mail: mivh@mail.ru, <https://mivh.ru>

Главный редактор – Г.Г. ГУЛЮК

Редакционный совет:

М.В. БОРОВОЙ, М.В. ГЛИСТИН, Н.К. ДОЛГУШКИН, Н.Н. ДУБЕНКО, Д.В. КОЗЛОВ, А.В. КОЛГАНОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.П. ЛИХАЦЕВИЧ, Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ, С.Г. МИТИН, П.А. МИХЕЕВ, В.И. ОЛЬГАРЕНКО, Г.В. ОЛЬГАРЕНКО, Н.Н. СОЛОДЧУК, Т.Г. СТЕПАНОВА, В.И. ТРУХАЧЁВ, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, В.А. ШЕВЧЕНКО, В.Н. ЩЕДРИН, В.П. ЯКУШЕВ, С.В. ЯХНЮК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПИТАЮЩЕГО ТРУБОПРОВОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ РАССАДНЫХ ТЕПЛИЦ

А.В. ГРУШИН, А.В. КОЛОМЕЕЦ

Ключевые слова: трубопровод, гидравлический расчет, расход воды, напор, гидравлическое сопротивление

Keywords: pipeline, hydraulic calculation, water flow rate, pressure, and hydraulic resistance

Аннотация. В статье приведен метод гидравлического расчета полиэтиленового питающего напорного трубопровода для проектируемой автоматизированной установки микрождевания рассадных культур, выращиваемых по кассетной технологии в теплицах. Метод гидравлического расчета при проектировании трубопроводных систем для орошения, позволяет определить необходимые параметры потока и потери давления, диаметр труб, если он не задан, подобрать дождеобразующие устройства и насосное оборудование. Алгоритм расчета основывается на исходных данных заданных параметров (диаметра, длины и материала трубопровода, перепада высот, расходных характеристиках и прочих параметрах), схеме системы, с указанием всех узлов на трубопроводе (арматуры, отводов, соединительных элементов и прочего), расчета потерь напора и оптимизации результатов расчета в случае необходимости. При расчетах используются формулы Дарси-Вейсбаха для определения потерь напора на трение и скорости потока для расчета через площадь сечения трубопровода расхода воды. Результат гидравлического расчета показывает, какими должны быть питающий трубопровод и параметры напора и расхода для реализации обеспечения выполнения технологического процесса полива.

Abstract. This article presents a hydraulic calculation method for a polyethylene supply pressure pipeline for a planned automated micro-sprinkler irrigation system for seedlings grown using cassette technology in greenhouses. This hydraulic calculation method for designing irrigation pipeline systems allows one to determine the required flow parameters and pressure losses, the pipe diameter (if not specified), and select rain-generating devices and pumping equipment. The calculation algorithm is based on initial data for the specified parameters (pipeline diameter, length, and material, elevation difference, flow characteristics, and other parameters), a system diagram indicating all pipeline components (fittings, bends, connectors, and others), a calculation of pressure losses, and optimization of calculation results where necessary. The calculations utilize the Darcy-Weisbach formulas for determining frictional pressure losses and flow velocity to calculate water flow using the pipeline cross-sectional area. The result of the hydraulic calculation shows what the supply pipeline and pressure and flow parameters should be to ensure the implementation of the technological irrigation process.

Введение. Гидравлический расчет дождевальной установки производится с целью выбора диаметра питающего трубопровода, определения скоростей и расходов в системе полива, гидравлических потерь напора по длине трубопровода и определения необходимого напора. Расчет производится с учетом характеристик материала трубопровода, вида и количества элементов, устанавливаемых в системе трубопровода, необходимой производительности и характеристик рабочей среды.

Гидравлический расчет трубопровода позволит правильно подобрать насосное оборудование подачи воды для полива.

Цель. Определение потерь напора воды по длине трубопровода на местные сопротивления и правильный подбор насосного оборудования системы водоподдачи в соответствии с требуемыми расходами и напором в сети.

Результаты и их обсуждение. Объектом исследования является напорный питающий трубопровод про-

ектируемой автоматизированной установки микрождевания теплиц. Установка применяется в рассадных теплицах туннельного типа для дождевания в автоматическом режиме в движении по подвесной рельсовой системе, по которой посредством тросовой системы с мотор-редуктором перемещаются поливная тележка с дождеобразующими устройствами и тележка петлеобразователя питающего шланга [1]. Комплект применяется в тепличном хозяйстве для полива кассетной рассады, низкорослой культуры в контейнерах или зеленых культур (лук на перо и т. п.). Комплектом можно проводить подкормку растений или химобработку растений и грунта. Комплект состоит из двухрельсовой направляющей, жестко подвешиваемой к каркасу теплицы над центральной дорожкой, двух кареток на четырех катках (поливной и петлеобразующей, для оборота питающего трубопровода), поливная каретка оснащена поперечной балкой, на которой установлены две телескопические штанги, для изменения высоты. Внизу штанг, с двух сторон от центральной дорожки теплицы расположены открылки с двумя рядами форсунок.

Гидравлическая обвязка состоит из подводящего и питающего напорных полиэтиленовых трубопроводов с соединительными частями, а также необходимой запорной арматуры и исполняющих дождеобразующих устройств в виде форсунок. Схемы питающего и подводящего трубопроводов представлены на рисунке.

Исходными данными заложено, что полиэтиленовый трубопровод по конструктивным требованиям должен иметь диаметр 40 мм, толщину стенки 3 мм и длину 100 м питающего трубопровода и 10 м подводящего. Расход одной форсунки при напоре 30 м равен 0,041 л/с. Общее количество одновременно работающих форсунок в ряду – 9. Тогда общий расход будет равен $0,041 \cdot 9 = 0,369$ л/с или $0,000369$ м³/с.

При диаметре полиэтиленовой трубы 40 мм и толщине стенки 3 мм внутренний диаметр равен 34 мм. Отсюда площадь сечения трубопровода:

$$\omega = \pi d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,034^2 / 4 = 0,00090746 \text{ м}^2,$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Скорость потока воды V в трубе, м/с:

$$V = Q / \omega,$$

где Q – расход воды в трубопроводе, м³/с; ω – площадь внутреннего сечения трубы, м².

$$V = 0,000369 / 0,00090746 = 0,738 \approx 0,41 \text{ м/с}.$$

Определяем число Рейнольдса Re :

$$Re = Vd / \nu,$$

где ν – кинематическая вязкость воды, м²/с.

При 20 °С кинематическая вязкость воды $\nu = 1,004 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = 0,41 \cdot 0,034 / 1,004 \cdot 10^{-6} \approx 13884.$$

Определяем коэффициент гидравлического трения λ : при $4000 < Re < 40(d/k)$, где k – абсолютная шероховатость трубы, мм; находится в зоне гидравлически гладких труб и λ определяется по формуле Блазиуса: $\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$:

$$\lambda = 0,3164 / (13884)^{0,25} \approx 0,02916.$$

Потери напора по длине трубопровода, как при ламинарном, так и при турбулентном режиме течения определяют по формуле Дарси-Вейсбаха, м:

$$\Delta H = \lambda(lv^2) / (d2g),$$

где l – длина трубопровода, м; g – ускорение свободного падения – $9,81 \text{ м/с}^{-2}$.

$$\Delta H = 0,02916(100 \cdot 0,74^2) / (0,034 \cdot 2 \cdot 9,81) = 2,39 \text{ м}.$$

Предварительно в схеме системы предполагается установка фильтра тонкой очистки, второго фильтра менее тонкой очистки, клапана электромагнитного, двух шаровых кранов, манометра, а также трубопроводной арматуры: тройников – 3 шт., угольников – 8 шт., плавных отводов из труб – 6 шт.

Гидравлические потери H_{Π} сложатся из сумм потерь по длине и потерь на местные сопротивления, т. е.

$$H_{\Pi} = \Delta H + \sum H_M,$$

где ΔH – потери напора по длине трубопровода; H_M – потери напора на местные сопротивления.

Потери напора на местные сопротивления H_M вычисляются по формуле Вейсбаха, м:

$$H_M = \xi v^2 / 2g,$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления для арматуры, поворотов, ответвлений и т. п.

Потери местного сопротивления на повороты 90° H_{Π} со значением $\xi = 1,1$:

$$8H_{\Pi} = 8 \cdot 1,1 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,245 \text{ м}.$$

Потери на тройниках $H_{\text{отв}}$ с $\xi = 1,5$:

$$3H_{\text{отв}} = 3 \cdot 1,5 \cdot 0,74 / 2 \cdot 9,81 = 0,125 \text{ м}.$$

Потери напора на шаровые краны H_K с $\xi = 0,15$:

$$2H_K = 2 \cdot 0,15 \cdot 0,74 / 2 \cdot 9,81 = 0,008 \text{ м}.$$

Потери напора на клапане электромагнитном $H_{KЭ}$ с $Kvs = 136 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$H = (Q / Kvs) 10, \text{ м}$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; Kvs – пропускная способность, $\text{м}^3/\text{ч}$; 10 – пересчет атмосфер в метры водного столба.

$$H_{KЭ} = (2,4 / 136) 10 = 0,176 \text{ м}.$$

Потери напора на изгиб трубопровода $H_{\text{изг}}$ при $\xi = 0,5$:

$$6H_{\text{изг}} = 6 \cdot 0,5 \cdot 0,74 / 2 \cdot 9,81 = 0,084 \text{ м}.$$

Потери напора на соединительных муфтах H_C с $\xi = 0,6$:

$$10H_C = 10 \cdot 0,6 \cdot 0,74 / 2 \cdot 9,81 = 0,167 \text{ м}.$$

Потери напора на фильтре H_{Φ} с фильтрацией до 170 мкм и $Kvs = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$2H_{\Phi} = 2(2,4 / 16) 10 = 3 \text{ м}.$$

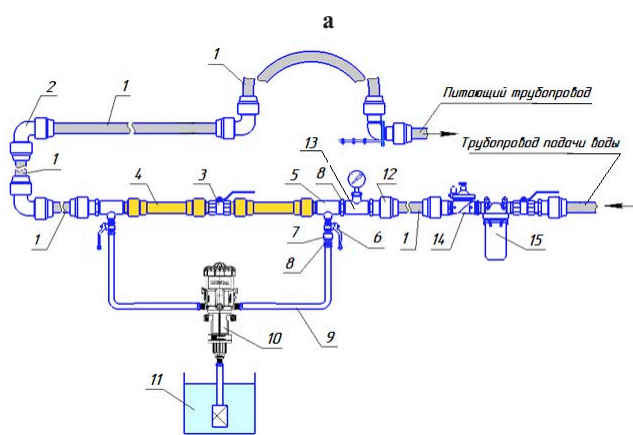
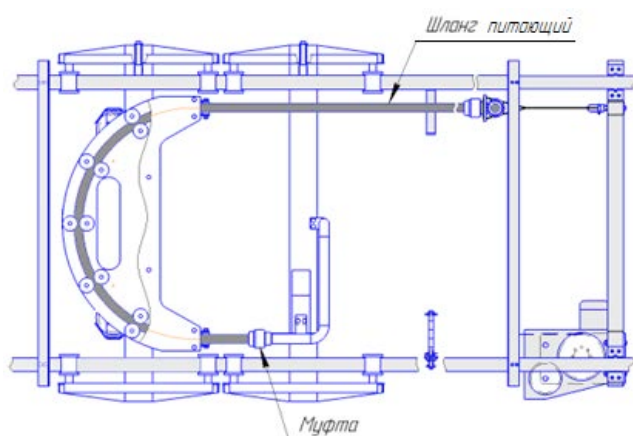
Высота перепада от забора воды до верхней точки подъема H_{Γ} составляет $2,5 \text{ м}$.

Итоговая сумма потерь напора по длине трубопровода и местные сопротивления составляет, м:

$$H_{\Pi} = \Delta H + \sum H_M;$$

$$H_{\Pi} = 2,39 + (0,245 + 0,125 + 0,008 + 0,176 + 0,084 + 0,167 + 3 + 2,5) \approx 8,7 \text{ м}.$$

При рекомендованном режиме работы форсунок при микродождевании, равном 30 м , и потерях напора на местные сопротивления $8,7 \text{ м}$, величина необхо-



Схемы питающего (а) и подводящего (б) трубопроводов:
 1 – подводящий трубопровод; 2 – отвод; 3, 6 – кран;
 4 – патрубок; 5, 13 – тройник; 7 – эрш; 8 – хомут;
 9 – шланг; 10 – дозатор; 11 – емкость; 12 – муфта;
 14 – клапан; 15 – фильтр

димого входного напора в начале трубопровода должна быть не менее 40 м .

Выводы и рекомендации

1. Расчетным методом определено, что скорость движения жидкости в трубопроводе при заданных параметрах составляет $0,41 \text{ м/с}$.
2. Число Рейнольдса $Re = 13884$.
3. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,02916$.
4. Суммарные потери напора по длине трубопровода $\Delta H = 8,7 \text{ м}$.
5. При рекомендуемом напоре на форсунках 30 м , необходимый напор на входе в систему трубопровода установки необходим не менее 40 м .
6. Расчетный метод определения потерь напора по длине трубопровода позволяет правильно подобрать насосное оборудование подачи воды для обеспечения выполнения технологического режима полива рассады в теплице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Коломеец А.В. Актуальность развития тепличного комплекса // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1. С. 62–66.
2. СП 40-102–2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов.

3. СП 66.13330.2011. Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом. С изменениями № 1. Изд. официальное, М., 2015.
4. СП 399.1325800.2018. Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа. С изменениями № 1.
5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1974. 480 с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическому сопротивлению фасонных и прямых частей трубопроводов. Жуковский: ЦАГИ, 1950.
7. Френкель Н.З. Гидравлика. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947.
8. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселёва. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1972. 372 с.

REFERENCES

1. Grushin A.V., Gzhibovsky S.A., Kolomeets A.V. The relevance of the development of the greenhouse complex // Bulletin of Land Reclamation Science. 2024. No. 1. Pp. 62–66.
2. SP 40-102–2000. Design and Installation of Piping Systems for Water Supply and Sewerage Systems Made of Polymer Materials.

3. SP 66.13330.2011. Design and construction of pressurized water supply and sanitation networks using high-strength cast iron pipes with spherical graphite. With amendments No. 1. Official edition, Moscow, 2015.
4. SP 399.1325800.2018. Outdoor water supply and sewage systems made of polymer materials. Design and installation rules. With amendments No. 1.
5. Abramov N.N. Water Supply. Textbook for Higher Education Institutions. 2nd Edition, Revised and Expanded. Moscow, Stroyizdat, 1974. 480 p.
6. Idelchik I.E. Handbook on the Hydraulic Resistance of Shaped and Straight Parts of Pipelines, TsAGI, 1950.
7. Frenkel N.Z. Hydraulics, Gosenergoizdat, 1947.
8. Handbook of Hydraulic Calculations. Edited by P.G. Kiselev. 4th edition, revised and expanded. Moscow, Energiya, 1972. 372 p.

Грушин Алексей Владимирович, ст. науч. сотрудник отдела техники и технологий микроорошения, *gav.vniiraduga@yandex.ru*, SPIN-код: 8176-8525 AuthorID: 914880; **Колomeец Анастасия Валерьевна**, мл. науч. сотрудник отдела техники и технологий микроорошения, *kolomeecz.n@bk.ru*, SPIN-код: 1610-2385, AuthorID: 1046655 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 626.8

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-4-7

ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Х.А. АБДУЛМАЖИДОВ, В.И. БАЛАБАНОВ, И.В. БЕЛОВ, Н.В. ГАВРИЛОВСКАЯ

Ключевые слова: мелиоративные оросительные каналы, фильтрация в каналах, защитные покрытия каналов, дефекты бетонных покрытий, бетоны для ремонта каналов, прочность бетонов, марки бетонов

Keywords: reclamation irrigation canals, filtration in canals, protective coatings of canals, defects of concrete pavements, concretes for canal repair, strength of concrete, concrete grades

Аннотация. В статье представлены анализ состояния защитных бетонных покрытий оросительных каналов, способы восстановления нарушенных бетонных конструкций, результаты экспериментальных исследований бетонов для ремонта защитных покрытий оросительных каналов, рекомендации по видам и количеству добавок в бетонные смеси для улучшения их свойств при ремонте стыков бетонных конструкций. В процессе длительной эксплуатации мелиоративных оросительных каналов с защитными бетонными покрытиями в виде плит и экранов, наблюдается их разрушение под действием сил со стороны потока воды, волновых сил, льда в зимний период, а также собственного веса, в результате чего происходит трещины стыков, сползание плит, оголение и размыв участков канала, приводящие к увеличению потерь воды с фильтрацией. В статье представлено исследование прочности бетонов с сульфоферритными добавками, основное назначение которых заключается в контролируемом расширении цементных растворов с компенсацией усадки, что важно для гидроизоляции и заделки трещин, с добавлением суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430.

Abstract. This article presents the analysis of the condition of protective concrete coatings of irrigation canals, methods of restoration of disturbed concrete structures, the results of experimental studies of concretes for the repair of protective coatings of irrigation canals, recommendations on the types and amount of additives to concrete mixtures to improve their properties when repairing joints of concrete structures. In the process of long-term operation of reclamation irrigation canals with protective concrete coatings in the form of slabs and screens, their destruction is observed under the influence of forces from the water flow, wave forces, ice in winter, as well as its own weight, as a result of which cracks occur in joints, sliding of slabs, exposure and erosion of sections of the canal, leading to an increase in water losses with filtration. The article presents a study of the strength of concretes with sulfoferritic additives, the main purpose of which is the controlled expansion of cement mortars with shrinkage compensation, which is important for waterproofing and crack sealing, with the addition of a polycarboxylate ester-based superplasticizer with a BASF MasterGlenium ACE 430 hardening accelerator.

Введение. Потери воды на фильтрацию в процессе ее транспортировки в каналах зоны орошения в земляном теле могут достигать значительных величин, что отражается негативно не только с точки зрения экологии, подтопления ближайших территорий, но и с экономической целесообразности. Для исключения таких потерь на предварительно уплотненных поверхностях дна и откосов оросительных каналов формируются защитные бетонные покрытия. Они могут быть сформированы в виде бетонных плит со стыковыми соединениями или в целом сформированы заливкой бетонной смеси в опалубку с армированными конструкциями в процессе строительства [1–4].

Цель исследования. Обоснование, выбор и определение прочности бетонных смесей с использованием сульфоферритных добавок и дифференцированного количества суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430.

Материалы и методы исследования. При длительной эксплуатации мелиоративных оросительных каналов с защитными покрытиями наблюдается их частичное разрушение, особенно соединительных стыков и швов бетонных плит. Кроме того, часто наблюдается сползание бетонных плит по откосу канала, при котором оголяется грунтовая подоснова, которая с течением времени размывается. Часто сползание бетонных плит возникает в результате разрушения конструкций бетонных оснований служащих упором для самой плиты. Такое состояние откосов и дна может привести к повышению фильтрации. Для обеспечения сохранности защитных экранов, связей бетонных плит

и в целом для поддержания нормальной работоспособности каналов необходимо обеспечить при ремонте каналов применение бетонных смесей с такими пропорциями компонентов и добавок к ним, которые усиливают и упрочняют соединительные швы и стыки.

В некоторых случаях необходимы добавки, предназначенные для расширения и увеличения в допустимых пределах объема затвердевающего бетона в целях ликвидации трещин в бетонных конструкциях, находящихся в контакте с водой [5–8]. Одной из таких добавок является сульфферритная смесь, в основе которой лежат сульфатосодержащие и железосодержащие отходы. В качестве основной характеристики данной добавки при рассмотрении бетонных смесей для ремонта защитных экранов оросительных каналов принимается возможность контролируемого расширения с учетом возможной усадки для гидроизоляции и заделки трещин. Сульфферритная добавка в рамках настоящей работы сформирована из гипса, содержащего сульфатированные и ферритовые компоненты.

Для оценки влияния на прочность бетонов кроме сульфферритных добавок в исследованиях применялся суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430 ускоряющий процесс гидратации и улучшающий набор ранней прочности бетона. Данная добавка обладает высоким водоредуцирующим действием.

Исследования проводились в лаборатории строительных материалов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период с октября по декабрь 2025 г. С учетом того, что кроме способности к расширению для исключения трещин, бетонные смеси для ремонта защитных покрытий оросительных каналов должны обладать достаточной прочностью, важной частью исследований являлось определение прочности бетонов с содержанием сульфферритных добавок и определение прочности в зависимости от возрастающего количества суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430. Для проведения лабораторных исследований, согласно стандартной методике, применялись следующие приборы, инструменты и материалы: образцы строительных материалов, испытательный лабораторный пресс ТП-1-1000, штангенциркуль, металлическая линейка, электронные весы [9–12].

Приготовление сульфферритной добавки производилось в лабораторных условиях перемешиванием измельченного сульфосодержащего гипса и железной стружки в пропорциях 50 и 50 % по массе.

В качестве базовой бетонной смеси применялась одна их распространенных марок М400, которая соответствует классу В30. Для приготовления требуемых порций бетонной смеси использовались следующие компоненты: портландцемент – 500 г, песок – 1090 г, щебень 1254 г, сульфферритная добавка 25 г, вода 235 мл. Данное соотношение определено на основе ГОСТ 26633. В процессе приготовления бетонной смеси соблюдалось водоцементное соотношение 27 %. Сульфферритная добавка использовалась в количестве 25 г в каждом опыте.

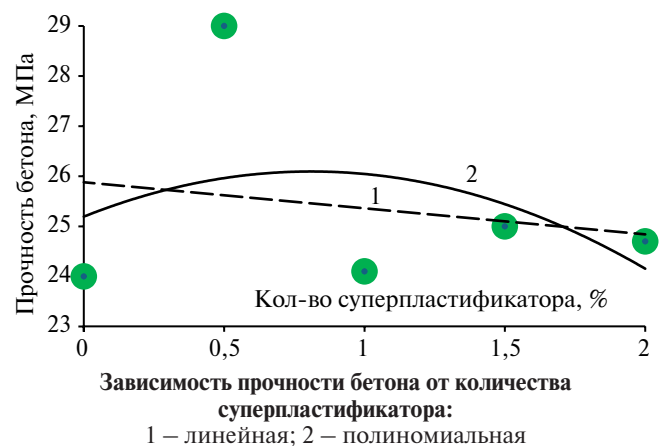
Исследование влияния добавки суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430 на прочность бетонной смеси марки М400 (В30) с содержанием 25 г сульфферритной составляющей, проводилось по схеме однофакторного эксперимента, в котором в качестве целевой функции принята прочность бетона, а в качестве фактора влияющего на прочность бетона – количество данной добавки в 0; 0,5; 1; 1,5; и 2% от массы цемента. Соответственно для исследования прочности по каждому из представленных вариантов формировались по 3 бетонных кубика размерами 10×10×10 см. Трехкратное формирование кубиков проводилось для определения средних значений выборки. Для выяснения общего влияния добавки суперпластификатора ACE 430 на прочность бетона, кроме представленных вариантов, рассмотрен опыт с ее нулевым содержанием. Таким образом, для оценки влияния добавки – выбранного суперпластификатора ACE 430, в однофакторном эксперименте определены 5 точек.

С учетом требований по обеспечению полного затвердевания приготовленных образцов кубиков соблюдены сроки в 28 дней. Кроме того, в рамках исследований для выяснения динамики набора прочности данная характеристика по кубикам бетона М400 (В30) определена по истечению 7 суток. Прочность образцов на данном этапе затвердения находилась в пределах от 12 до 15 МПа.

Результаты исследования и их обсуждение. По истечению 28 сут набора прочности бетонные кубики проверены на прочность в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Зависимость прочности бетона марки М400 (В30), содержащего сульфферритную составляющую, от количества суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE 430, полученные в процессе обработки однофакторного эксперимента приведены на рисунке.

В таблице представлены результаты проведенных экспериментов в рамках однофакторного эксперимента по определению зависимости прочности бетона марки М400 (В30) с содержанием 25 г сульфферритной составляющей от количества добавленного в него суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE 430.

Несмотря на невысокие значения коэффициентов детерминации $R^2=0,0392$ для линейной и $R^2=0,1346$ – для полиномиальной, которые показывают, насколько



Определение прочности бетона в зависимости от количества добавки

Исследуемый бетон	Прочность			
	П ₁ , МПа	П ₂ , МПа	П ₃ , МПа	П _{ср.} , МПа
M400 (B30) + 0,0 %	22,7 (298,2)*	25,0 (328,7)	24,3 (319,4)	24,0 (315,4)
M400 (B30) + 0,5 %	29,8 (397,5)	28,4 (373,5)	29,0 (381,9)	29,0 (384,3)
M400 (B30) + 1,0 %	24,5 (322,6)	23,8 (313,0)	24,1 (317,3)	24,1 (317,6)
M400 (B30) + 1,5 %	24,5 (322,8)	25,2 (331,3)	25,3 (332,8)	25,0 (328,9)
M400 (B30) + 2,0 %	24,8 (326,7)	24,6 (323,3)	24,9 (328,0)	24,7 (326,0)

* В скобках указана максимальная нагрузка, кН.

близко изменение случайной величины к строгой линейной или нелинейной зависимости, наиболее адекватно исследуемый процесс описывается полиномиальной аппроксимацией с уравнением регрессии:

$$y = -1,3714x^2 + 2,2229x + 25,194.$$

Результаты экспериментальных исследований показали, что в процессе формирования бетонных кубиков произошло увеличение их линейных размеров, величина которых находится в пределах 3...5 мм над стенками форм. Данная характеристика бетона, полученная добавлением сульфферритной смеси подтверждается. Однако, по представленным зависимостям можно сделать выводы о том, что в данных конкретных условиях прочность бетона с добавлением суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE 430 от 0,5 до 2 % незначительно, но снижается.

Выводы

1. В работе проведен анализ состояния бетонных покрытий оросительных каналов. Выяснено, что в процессе длительной эксплуатации бетонные покрытия и защитные плиты подвергаются воздействию внешних условий, таких как давление воды, температурные перепады, волновые нагрузки и собственный вес, под которыми нарушаются первоначальные проектные формы и размеры канала. Такие виды дефектов увеличивают процесс фильтрации, приводящий к потере воды на мелиоративных оросительных системах.

2. По результатам проведенных экспериментов по определению прочности бетона марки M400 (B30) с содержанием сульфферритной составляющей, в зависимости от количества добавленного суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE 430, можно утверждать о возможности его применения для гидроизоляции и заделки трещин.

3. Установлено, что с точки зрения величины прочности бетона с добавлением суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE 430 наблюдается незначительное ее снижение. Данный факт несколько ограничивает применение исследуемой марки бетона с добавлением перечисленных компонентов для ремонта ответственных бетонных покрытий оросительных каналов.

Исследование выполнено в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Семененко С.Я., Марченко С.С., Дубенок Н.Н. Расчетное обоснование объема строительной смеси при устранении пустот под плитами крепления мелиоративных каналов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 6–1. С. 56–61.

2. Гарбуз А.Ю., Рыбалко Д.С. Обзор исследований берегозащитных устройств на гидротехнических сооружениях мелиоративного назначения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. № 2(96). С. 15–34.

3. Байдакова Е.В., Кривоускова В.Н., Дунаев А.И. Проблемы возобновления работы и эксплуатации Северо-Крымского канала // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 5(93). С. 68–72. DOI 10.52691/2500-2651-2022-93-5-68-72.

4. Васильева Е.В., Федоров В.М. Повышение надежности бетонных элементов мелиоративных систем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 390–400. DOI 10.32786/2071-9485-2021-04-39.

5. Конструкционный легкий бетон для гидротехнического мелиоративного строительства / А.Р. Муратов, С.М. Меликузиев, О.Э. Атамуротов, А.Р. Эшбеков // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 6. С. 34–40. DOI 10.32962/0235-2524-2024-6-34-40.

6. Васильева Е.В., Федоров В.М. Сборные элементы сооружений мелиоративных систем из бетона на некондиционных заполнителях // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т. 9, № 2. С. 33–42.

7. Инновационные способы восстановления микроразрушений гидротехнических сооружений / М.В. Карпов, Л.А. Журавлева, А.А. Жидюк [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 77–81. DOI 10.28983/asj.y2022i12pp77-81.

8. Юрченко А.Н., Яо Ц. Общие подходы к восстановлению гидросооружений после длительного перерыва в строительстве // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 5. С. 6–11. DOI 10.32962/0235-2524-2024-5-6-11.

9. Каддо М.Б., Филимонова Ю.С. Исследование модифицированного тяжелого бетона на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29, № 1. С. 37–44.

10. Ткач Е.В., Филимонова Ю.С. Модифицированный тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего для гидромелиоративного строительства // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29, № 4. С. 326–334.

11. Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов / Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников, О.В. Михеева, Е.Н. Миркина // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 107–114. DOI 10.28983/asj.y2023i6pp107-114.

12. Баев О.А. Изучение особенностей конструкций противофильтрационных экранов каналов и прудов-накопителей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 3(15). С. 104–119.

REFERENCES

1. Semenenko S.Ya., Marchenko S.S., Dubenok N.N. Mezhdunarodnoye zhurnal'nykh zhurnal'nykh issledovaniye [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2017. № 6-1. P. 56–61.
2. Garbuz A.Yu., Rybalko D.S. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2025. № 2(96). P. 15–34.
3. Baydakova E.V., Krovopuskova V.N., Dunaev A.I. Problems of renewal of work and operation of the North Crimean Canal // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2022. № 5(93). P. 68–72. DOI 10.52691/2500-2651-2022-93-5-68-72.
4. Vasil'eva E.V., Fedorov V.M. Izvestiya Nizhnevolszhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovaniye [Improving the reliability of concrete elements of reclamation systems]. 2021. № 4(64). P. 390–400. DOI 10.32786/2071-9485-2021-04-39.
5. Structural light concrete for hydrotechnical reclamation construction / A.R. Muratov, S.M. Melikuziev, O.E. Atamurotov, A.R. Eshbekov // Melioration and water management. 2024. № 6. P. 34–40. DOI 10.32962/0235-2524-2024-6-34-40.
6. Vasil'eva E.V., Fedorov V.M. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2023. Т. 9, No 2. P. 33–42.
7. Karpov M.V., Zhuravleva L.A., Zhizdyuk A.A. [i dr.] [Innovative methods of restoration of microfractures of hydraulic structures]. 2022. № 12. P. 77–81. DOI 10.28983/asj.y2022i12pp77-81.
8. Yurchenko A.N., Ts. Yao General approaches to the restoration of hydraulic structures after a long break in construction. 2024. № 5. P. 6–11. DOI 10.32962/0235-2524-2024-5-6-11.

9. Caddo M.B. And investigation of modified concrete on the basis of polydispersent base with complex polymern urgerm modifier // Silicate technique and technology. 2022. Т. 29, № 1. S. 37–44.

10. Tkach E.V. Modified heavy concrete based on polydisperse binder for hydro-reclamation construction // Silicate technique and technology. 2022. Т. 29, № 4. S. 326–334.

11. Filtration in canals with an earth bed and new methods of slope fastening / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov, O.V. Mikheeva, E.N. Mirkina // Agrarian Scientific Journal. 2023. № 6. P. 107–114. DOI 10.28983/asj.y2023i6pp107-114.

12. Baev O.A. Study of the features of constructions of antifiltrate screens of canals and ponds-accumulations. 2014. № 3(15). P. 104–119.

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович, доктор техн. наук, доцент, abdulmajidov@rgau-msha.ru; **Балабанов Виктор Иванович**, доктор техн. наук, профессор, vbalaabanov@rgau-msha.ru; **Белов Игорь Викторович**, аспирант, ст. преподаватель, iv.belov@rgau-msha.ru; **Гавриловская Надежда Владимировна**, канд. техн. наук, доцент, gavrilovskayanv@rgau-msha.ru (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия).

УДК 626-315.3

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-7-11

ВЕРИФИКАЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В.В. СОРОКА, С.С. ТУРАПИН, А.Е. КАЧАЕВ

Ключевые слова: верификация, откос, коэффициент устойчивости, плотина, метод снижения прочности, метод конечных элементов

Keywords: verification, slope, stability factor, dam, strength reduction method, finite element method

Аннотация. В исследовании рассматриваются ключевые аспекты оценки устойчивости откосов, что является важной задачей в области геотехнической безопасности при проектировании инженерных сооружений. В работе акцентируется внимание на необходимость учета неопределенности и возможности переноса параметров на другие случаи, что требует строгого подхода к верификации моделей. Обзор включает анализ данных, полученных D.V. Griffiths и P.A. Lane, и подчеркивает различия между двумя стадиями верификации: корректностью расчетов и соответствием реальному режиму, что часто приводит к путанице в интерпретации результатов. Исследование выделяет преимущества применения метода конечных элементов, который позволяет гибко интегрировать численные методы и не требует предварительного знания механизма разрушения. В условиях растущей урбанизации и изменения климатических условий возрастает потребность в надежных методах прогнозирования устойчивости откосов. Выводы подчеркивают важность системного подхода к верификации и необходимости унифицированных наборов данных для калибровки и проверки моделей, что может значительно повысить надежность и точность в оценке устойчивости склонов. Расхождение между результатами численного моделирования откосов по параметру коэффициента устойчивости и перемещений и аналогичными параметрами, определяемыми по методу Morgenstern-Price не превышает 4%.

Abstract. This study examines key aspects of slope stability assessment, a critical issue in geotechnical safety design for engineering structures. It emphasizes the need to account for uncertainty and the transferability of parameters to other cases, which requires a rigorous approach to model verification. The review includes an analysis of data obtained by D.V. Griffiths and R.A. Lane and highlights the differences between two stages of verification: calculation accuracy and compliance with real-world conditions, which often leads to confusion in the interpretation of results. The study highlights the advantages of using the finite element method, which allows for the flexible integration of numerical methods and does not require prior knowledge of the failure mechanism. In the context of increasing urbanization and climate change, the need for reliable methods for predicting slope stability is increasing. The findings emphasize the importance of a systematic approach to verification and the need for unified datasets for model calibration and validation, which can significantly improve the reliability and accuracy of slope stability assessment. The discrepancy between the results of numerical modeling of slopes based on the stability and displacement coefficient parameter and similar parameters determined using the Morgenstern-Price method does not exceed 4%.

Введение. Устойчивость откосов является одной из ключевых задач геотехнической безопасности при проектировании инженерных сооружений и при оценке рисков, связанных с эксплуатацией природных склонов. Применение численных методов дает возможность учитывать нелинейную связность грунтов,

геомеханические свойства, запаздывания и различного рода внешние воздействия (нагрузки от грунтового давления, водонапор, сейсмические воздействия). Однако надежность таких оценок во многом определяется корректной верификацией численных моделей: совпадение решения с известными аналитическими результатами, с данными лабораторных и полевых испытаний и стабильная сходимость при изменении дискретизации и параметров моделирования [1, 2].

Для оценки прочности и устойчивости откосов применяют как аналитические методы (методы Феллениуса [3], Бишопа [4], которые предполагают форму скольжения в виде дуги круга; методы Спенсера [5], Джанбу [6], Morgenstern-Price [7], Шахунянца [8], которые моделируют поверхность скольжения как ломаную линию), так и численные методы (например, метод конечных элементов – МКЭ [9, 10]), которые позволяют учитывать геомеханику материалов, геометрию откоса, неоднородности и нелинейность поведение грунтов. Однако надежная верификация численных моделей требует сопоставления результатов численного моделирования с известными аналитическими решениями или с эталонными тестами, особенно в случаях однородных откосов, где можно аппроксимировать поведение конечного элемента аналитическими формулами (например, для бесконечного откоса).

В статье рассматривается методологический подход к верификации устойчивости однородных откосов посредством численных моделей на основе конечных элементов и сопоставления с аналитическими решениями для бесконечного откоса, а также исследуются влияния параметров сетки, материала и граничных условий на получаемые значения фактора устойчивости объекта исследования.

Целью исследования является разработка методологии оперативной верификации и демонстрация ее применения на примере устойчивости различного устройства однородных откосов, оцениваемых численными методами с использованием современных моделей грунтов и методов аналитического расчета.

В последние годы на фоне роста темпов урбанизации, расширения инфраструктурных проектов и измене-

ний климатических условий возрастает потребность в надежных методах прогнозирования устойчивости откосов.

В литературе четко различают два уровня верификации: техническую проверку численного алгоритма и эмпирическую валидацию моделей на основе данных по реальным откосам. Значительная часть работ сфокусирована на сравнении результатов разных методик расчета устойчивости (limiting equilibrium против численного моделирования FE/FD), анализе чувствительности к параметрам грунтов (коэффициент k' и угол трения ϕ' , плотность γ , влажность, поровое давление) [11]. Однако систематический подход к агрегированному анализу данных по верификации остается недостаточно развитым: отсутствуют унифицированные наборы данных для калибровки и проверки моделей, как правило, отсутствуют открытые базы полевых наблюдений, а существующие кейсы часто ограничиваются конкретными регионами и типами грунтов.

Проблемы усложняются высокой пространственной и временной вариабельностью свойств грунтов, неустойчивостью грунтовых массивов, динамическими воздействиями (осадки, дожди, паводки) и сложной гидрогеологической конфигурацией, что требует строгого учета неопределенности и допуска к верификации. Кроме того, различия между двумя стадиями верификации (корректность расчета и соответствие реальному режиму) нередко приводят к путанице в интерпретации результатов и к разной трактовке критериев соответствия.

Методы и объект исследования. В исследовании проверяются данные, полученные D.V. Griffiths и P.A. Lane для оценки стабильности откосов в условиях понижения уровня воды [12]. В настоящем исследовании рассматривается верификация устойчивости откосов — объектов исследования, которые показаны на рис. 1. В концепции информационного моделирования [13, 14] объектов капитального строительства и гидротехнического назначения. На рис. 1а показана грунтовая

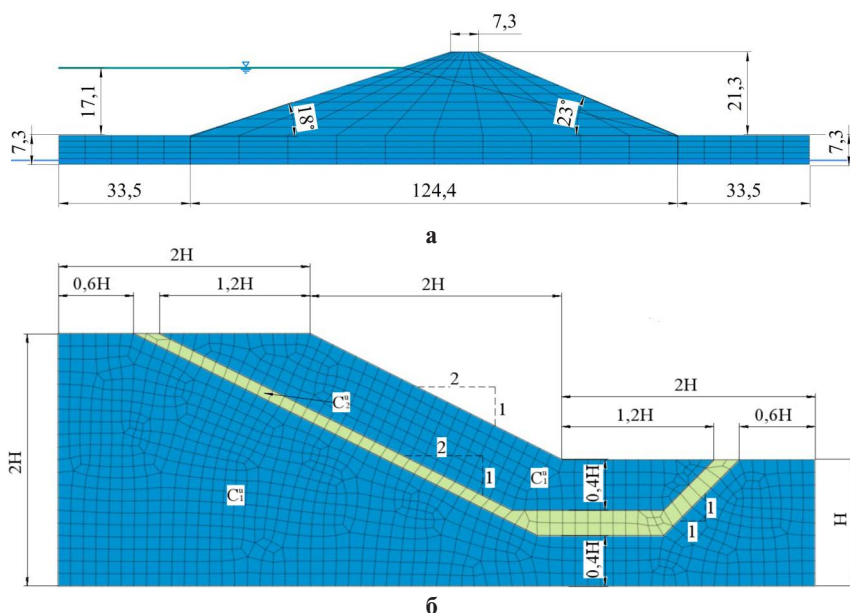


Рис. 1. Объекты исследования в конечных элементах:

а — однородный откос грунтовой плотины (размеры в метрах); б — однородный откос со слабым подстилающим слоем (размеры — функция $f(H)$)

плотина с верховым и низовым откосом. В практике рассчитывается на устойчивость низовой откос [2, 14], который находится в менее увлажненном состоянии и обеспечивает стабильное состояние всей плотины. При этом используются аналитические методы расчета устойчивости откосов, изложенные в работах [3–8]. На рис. 1б показан однородный откос со слабым подстилающим слоем в относительных размерах, зависящих от величины параметра H .

На рис. 1а показана модель плотины с фреатической поверхностью, которая изменяется от уровня водохранилища до уровня основания. Анализ устойчивости склонов проводится методом снижения прочности (Strength Reduction Method — SRM) для двух случаев: А) с уровнем воды и Б) без уровня воды.

На рис. 1б показан исследуемый объект с уклоном слоя основания и с заделанным слоем более слабого материала для имитации скользкой облицовки в системе свалок. Смещения ограничены в горизонтальном направлении вдоль вертикальных кромок и во всех направлениях вдоль нижней кромки. Наклонная система подвергается воздействию собственного веса. В таблице показаны данные, необходимые для численного моделирования исследуемых объектов (рис. 1) в программном комплексе GTS NX.

Верификация численных моделей откосов в гидротехнике необходима для подтверждения того, что аналитические методы расчета и программный код, полученный с помощью расчетного программного комплекса, корректно решают поставленные физические задачи в процессе информационного моделирования гидротехнического объекта, а, следовательно, обеспечивают надежность при принятии проектных решений на различных стадиях жизненного цикла объекта.

Результаты и их обсуждение. После проведения численного расчета объектов исследования, показанных на рис. 1, и расчета параметров устойчивости откосов в качестве верификационного метода выбран метод Моргенштерна-Прайса [6], который учитывает все три условия равновесия (силы в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также моменты) и силы взаимодействия между блоками, что делает его более точным, чем упрощенные методы [2–5]. При этом остается практичным и применимым для различных форм поверхностей скольжения, включая некруглые, в отличие от многих других, благодаря своей гибкости и возможности интеграции с численными методами, например, как в нашем случае с конечными элементами.

На рис. 2 показаны деформированные формы численной модели, представленной на рис. 1а, вблизи точки неустойчивого равновесия, как с уровнем воды — случай А, так и без нее — случай Б.

В обоих случаях нестабильность возникает в области, где откос более крутой — в данном случае на низовом

Данные для численного моделирования объектов исследования

Материал откоса (однородный, глины или суглинки уплотненные, рис. 1а)	Модуль упругости Юнга	$E=0,2$ ГПа
	Коэффициент Пуассона	$\nu=0,3$
	Название модели (тип)	Мора-Кулона
	Когезия (сцепление грунта)	13,8 кПа
	Угол внутреннего трения	37°
	Угол дилатансии	37°
Нагрузка при моделировании	Собственный вес	$\gamma_T=18,2$ кН/м ³
Материал откоса (однородный, глинистый грунт с добавками, рис. 1б)	Модуль упругости Юнга	$E=0,8$ ГПа
	Коэффициент Пуассона	$\nu=0,3$
	Название модели (тип)	Мора-Кулона
	Когезия (сцепление грунта)	$C^u_1=50$ кПа
	Когезия (сцепление грунта)	$C^u_2=10...50$ кПа
	Угол внутреннего трения	0°
Угол дилатансии	0°	
Нагрузка при моделировании	Собственный вес	$\gamma_T=20$ кН/м ³

откосе. Также следует отметить, что если учитывать наличие воды в объеме грунта (случай А), механизм разрушения распространяется глубже в основание плотины, в то время в случае Б, приводит к разрушению основания откоса с меньшими перемещениями, чем в случае А. Например, максимальные перемещения в низовом откосе плотины в случае А составляют 0,423 м, в случае Б – 0,299 м. Эти результаты согласуются с решениями для предельного равновесия, включенными в справочник [15].

В обоих случаях перемещения ограничены в горизонтальном направлении вдоль вертикальных краев и во всех направлениях вдоль нижнего края. В программном комплексе GTS NX модель грунтовой плотины подвергается воздействию собственного веса и внешнего давления из-за наличия воды в водохранилище (только случай А). Для случаев А и Б установлены аналитическим расчетом по методу [6] коэффициенты устойчивости откоса 2,42 и 1,9 соответственно (рис. 3) в зависимости от параметра полных перемещений в грунтовой плотине.

Полученные коэффициенты устойчивости (безопасности) (Factor of Safety – FoS) при рассмотрении обоих случаев сравниваются с эталонными значениями, полученными при аналитическом расчете этих параметров по методу Моргенштерна-Прайса [6].

По результатам численного моделирования, показанным на рис. 2, графические зависимости на рис. 3 устанавливают изменение коэффициента устойчивости откоса исследуемого объекта (рис. 1а) в зависимости от максимальных перемещений в теле плотины при сохранении ее устойчивости и численно определенном коэффициенте устойчивости для рассматриваемых случаев А и Б. Так, для случая А численным расчетом в программном комплексе GTS NX коэффициент устойчивости равен 2,5094, для случая Б – 1,9656. Суммарная погрешность между результатами численного и аналитического расчетов грунтовой плотины для случая А составляет + 3,69%, для случая Б – + 3,45%.

На основании полученных данных по верификации коэффициента устойчивости для объекта, показанного на рис. 1а, можем заключить, что статистическая погреш-

ность в 3% близка к значениям расхождения, полученным аналитическими и численными методами. Полученные данные верификации коэффициентов устойчивости по объекту на рис. 1а считаем удовлетворительными и достоверными для принятия конструктивных и технологических решений по обеспечению должного уровня безопасности на объектах подобного при выполнении работ по капитальному ремонту или реконструкции.

Результаты численного расчета объекта исследования, показанного на рис. 1б, представлены на рис. 4. Представлена динамика перемещений одно-

родного откоса со слабым подстилающим слоем. Графическое изображение на рис. 4а показывает начальные перемещения в теле откоса при соотношении сцепления грунтов равном $C^u_2/C^u_1=0,2$, когда сцепление основного грунта откоса равно 50 кПа, а сцепление подстилающего слоя – 10 кПа. Графическое изображение на рис. 4б показывает начальные перемещения в теле откоса при соотношении сцепления грун-

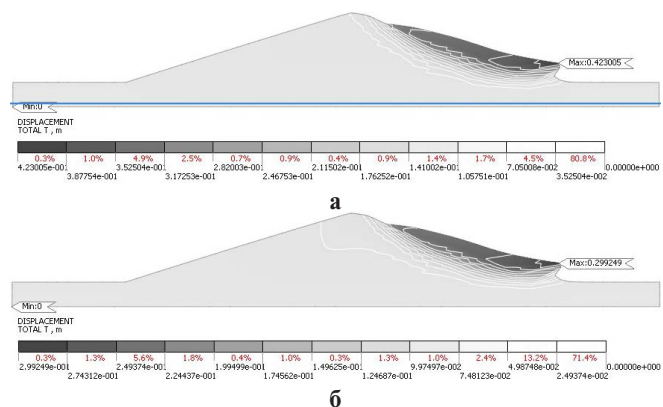


Рис. 2. Деформированная форма низового откоса грунтовой плотины при потере устойчивости: а – случай А; б – случай Б

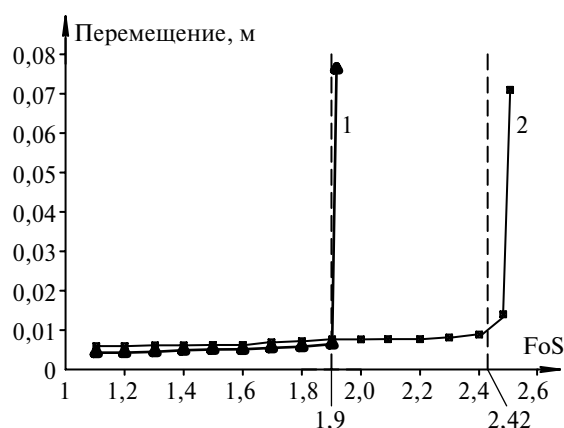


Рис. 3. Коэффициент устойчивости откоса: 1 – случай А; 2 – случай Б

тов равном $C^u_2/C^u_1=0,6$, когда сцепление основного грунта откоса равно 50 кПа, а сцепление подстилающего слоя – 30 кПа.

На рис. 4 в показаны начальные перемещения в теле откоса при соотношении сцепления грунтов равном $C^u_2/C^u_1=1$, когда сцепление основного и подстилающего грунтов откоса равно 50 кПа. При сохранении прочности грунта проведена оценка устойчивости склона для нескольких значений прочности слабого слоя: $C^u_2/C^u_1=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ и 1 (рис. 5).

На рис. 4 приведены деформированные формы исследуемой модели, показанной на рис. 1б, вблизи точки неустойчивого равновесия для различных значений прочности слабого слоя. Рассмотрим три точки графика (рис. 5), при которых соотношение C^u_2/C^u_1 равно 0,2, 0,6 и 1. Деформированная форма соответствует форме сла-

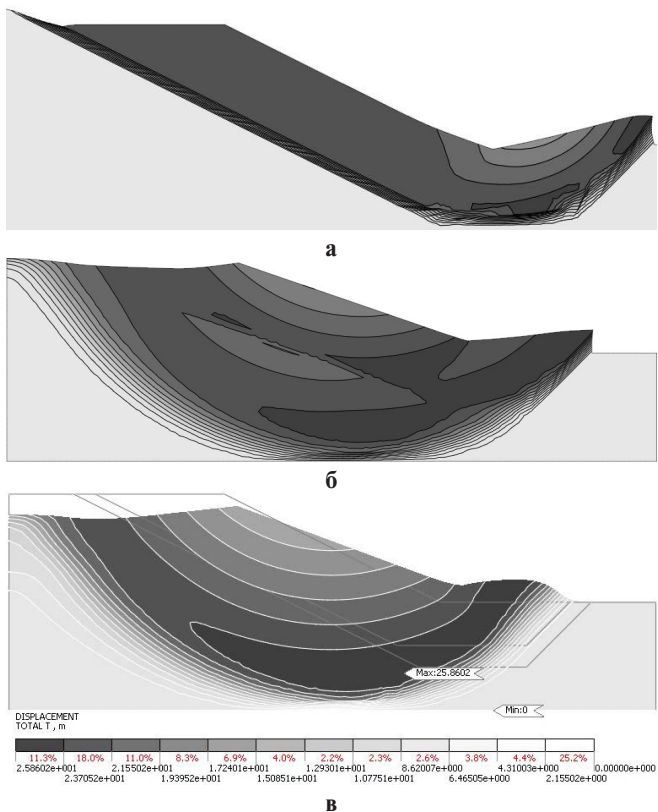


Рис. 4. Деформированная форма откоса со слабым подстилающим слоем:
а – $C^u_2/C^u_1=0,2$; б – $C^u_2/C^u_1=0,6$; в – $C^u_2/C^u_1=1$

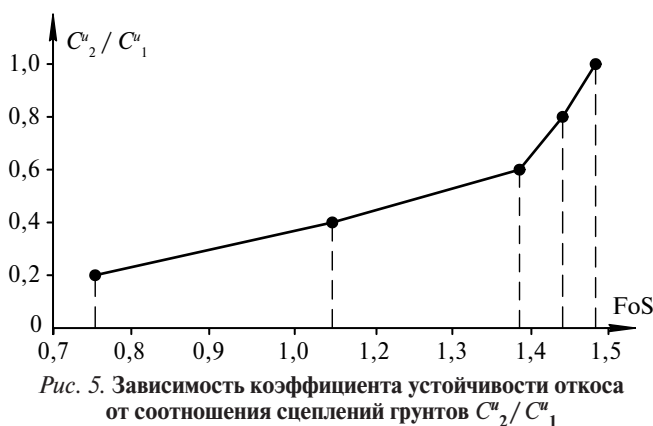


Рис. 5. Зависимость коэффициента устойчивости откоса от соотношения сцеплений грунтов C^u_2/C^u_1

бого слоя для $C^u_2/C^u_1=0,2$ и приобретает круглую форму по мере приближения модели к однородной. Оба механизма отказа становятся активными при $C^u_2/C^u_1=0,6$.

Именно для соотношения $C^u_2/C^u_1=1$ будет верифицироваться максимальное значение коэффициента устойчивости откоса: аналитический расчет по методу Morgenштерна-Прайса [6] дает величину, равную 1,47, а численное моделирование – 1,4617. Расхождение между результатами составляет 0,56%. Следовательно, можно сказать, что результат численного моделирования откоса, показанного на рис. 1б, с высокой степенью достоверности верифицируется с аналитическим расчетом исследуемого параметра. Эти результаты иллюстрируют преимущества анализа устойчивости откосов различного устройства на основе конечных элементов, который не требует априорного знания механизма разрушения.

Выводы. Исследование подчеркивает важность корректной верификации численных моделей для достижения достоверных результатов, что включает сравнение с аналитическими данными и лабораторными испытаниями. С учетом полученных результатов и оценки их точности предложен метод верификации численных результатов моделирования устойчивости различных устройств откосов с результатами аналитического метода Morgenштерна-Прайса для определения одноименного параметра.

Применение метода конечных элементов для анализа устойчивости откосов демонстрирует преимущества, такие как отсутствие необходимости в априорном знании механизма разрушения и оперативность нахождения значения коэффициента устойчивости откоса при различном его нагружении.

Учет неопределенности и влияние различных параметров на устойчивость откосов являются ключевыми аспектами для повышения точности и надежности численных расчетов.

Научная значимость заключается в разработке методологии верификации численных моделей, что способствует улучшению теоретических основ анализа устойчивости откосов.

Практическая значимость исследования проявляется в возможности применения полученных результатов для оценки и мониторинга устойчивости откосов в реальных условиях, что может предотвратить потенциальные разрушения и повысить безопасность объектов гидротехнического назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анискин Н.А., Сергеев С.А. Устойчивость откоса грунтовой плотины при сработке водохранилища // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12, № 3. С. 6–17. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.1.
2. Качаев А.Е., Турапин С.С. Методика численного моделирования устойчивости грунтовой плотины при экстренной сработке водохранилища // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 4–13. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
3. Fellenius W. Calculation of the Stability of Earth Dams, Trans. 2nd Cong. on Large Dams. Vol. 4. 1936. 445 p.
4. Bishop A.W., Morgenstern N. Stability Coefficients for Earth Slopes. Géotechnique. Vol. 10(4).1960. Pp. 129–153. DOI: 10.1680/geot.1960.10.4.129.
5. Spencer E. A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. Geotechnique. Vol.17. Pp. 11–26. 1967. DOI: 10.1680/geot.1967.17.1.11.

6. Janbu N. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In: Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes, Sweden. 1954. Pp. 43–49.

7. Morgenstern N.R., Price V.E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. Géotechnique. Vol. 15. 1965. Pp. 79–93. DOI: 10.1680/geot.1965.15.1.79.

8. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1953. 828 с.

9. Моделирование устойчивости откоса по различным кривым скольжения / К.Н. Анахаев, А.С. Бестужева, В.В. Беликов, А.Б. Балкизов, М.О. Мамчур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 4. С. 55–69. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-55-69.

10. Применение метода конечных элементов в геотехнических расчетах по первому предельному состоянию / В.Г. Федоровский, Г.А. Бобырь, И.А. Боков, С.В. Ильин // Вестник НИЦ Строительство. 2019. № 1(20). С. 102–112.

11. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // Наука и мир. 2024. № 3. С. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.

12. Lane P.A., Griffiths D.V. Assessment of stability of slopes under drawdown conditions. Jnl. Geotech. and Geoenv. Engng. Vol. 126(5). 2000. Pp. 443–450.

13. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: учебное пособие / А.А. Романович, В.А. Уваров, Т.Н. Орехова, А.Е. Качаев, Е.В. Харламов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 134 с.

14. Качаев А.Е., Турапин С.С. Анализ этапов BIM-моделирования при проектировании и реконструкции гидротехнических сооружений // Наука и мир. 2025. № 1. С. 16–20. DOI: 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.

15. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). 2-е изд. Л.: Стройиздат, 1988. 415 с.

REFERENCES

1. Aniskin N.A., Sergeev S.A. Stability of the slope of an earth dam during reservoir drawdown // Construction: Science and Education. 2022. Vol. 12, No. 3. Pp. 6–17. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.1.

2. Kachaev A.E., Turapin S.S. Methodology for numerical modeling of earth dam stability during emergency reservoir drawdown // Ecology and Construction. 2024. No. 4. Pp. 4–13. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-001.

3. Fellenius W. Calculation of the Stability of Earth Dams, Trans. 2nd Cong. on Large Dams. Vol 4. 1936. 445 p.

4. Bishop A.W., Morgenstern N. Stability Coefficients for Earth Slopes. Geotechnique. Vol.10(4).1960. Rr. 129–153. DOI: 10.1680/geot.1960.10.4.129.

5. Spencer E. A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. Geotechnique. Vol.17. Pp. 11–26. 1967. DOI: 10.1680/geot.1967.17.1.11.

6. Janbu N. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In: Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes, Sweden. 1954. Pp. 43–49.

7. Morgenstern N.R., Price V.E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. Géotechnique. Vol. 15. 1965. Pp. 79–93. DOI: 10.1680/geot.1965.15.1.79.

8. Shakhunyants G.M. Railway Roadbed. Moscow, Transzheldorizdat, 1953. 828 p.

9. Anakhaev K.N., Bestuzheva A.S., Belikov V.V., Balkizov A.B., Mamchur M.O. Modeling Slope Stability Using Various Slip Curves // Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2025. Vol. 27. No. 4. Pp. 55–69. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-55-69.

10. Fedorovsky V.G., Bobyry G.A., Bokov I.A., Ilyin S.V. Application of the finite element method in geotechnical calculations for the first limit state // Bulletin of the Scientific Research Center Construction. 2019. No. 1(20). Pp. 102–112.

11. Kachaev A.E., Turapin S.S. Features of the reconstruction of earth dams of melioration systems // Science and Peace. 2024. No. 3. Pp. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.

12. Lane P.A., Griffiths D.V. Assessment of stability of slopes under drawdown conditions. Jnl. Geotech. and Geoenv. Engng. Vol. 126(5). 2000. Pp. 443–450.

13. Romanovich A.A., Uvarov V.A., Orekhova T.N., Kachaev A.E., Kharlamov E.V. Mechanization of transport processes in road construction: A tutorial. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 134 p.

14. Kachaev A.E., Turapin S.S. Analysis of BIM modeling stages in the design and reconstruction of hydraulic structures // Science and Peace. 2025. No. 1. Pp. 16–20. DOI: 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.

15. Dalmatov B.I. Soil mechanics, foundations and foundations (including a special course in engineering geology). 2nd edition, Leningrad: Stroyizdat, 1988. 415 p.

Сорока Вадим Вадимович, студент 4-го курса, ORCID: 0009-0009-6990-3666 (Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Коломна, Россия); **Качаев Александр Евгеньевич**, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, зав. отделом эксплуатации гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений, doctor_cement@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6840-2477; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора, вед. науч. сотрудник, prraduga@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1198-2511 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 626/627

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-11-14

ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КУЧУКСКОГО ГИДРОУЗЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ ВОД

Д.Е. КУПРИЯНОВ, Т.В. ПИЛИПЕНКО, Д.А. ЕФРЕМЕНКО, М.В. ГЛИСТИН

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, агрессивные воды, соленые воды, коррозия бетона, сульфатная коррозия, георадарные исследования, добротность бетона, остаточный ресурс

Keywords: hydraulic structures, aggressive waters, saline waters, concrete corrosion, sulfate corrosion, ground penetrating radar, concrete quality factor, residual service life

Аннотация. Кучукский гидроузел, расположенный на озере Кучук Алтайского края, эксплуатируется в условиях воздействия агрессивных соленых вод, что существенно влияет на долговечность и надежность его конструкций. В статье представлены результаты комплексного обследования бетонных и металлических элементов гидроузла, выполненного в рамках экспертизы декларации безопасности гидротехнического сооружения. Исследования включали визуальное обследование, неразрушающий и разрушающий контроль прочности бетона, лабораторные испытания кернов, а также георадарные исследования с анализом параметров объемной влажности и добротности бетона.

Установлено, что бетонные конструкции находятся в ограниченно работоспособном состоянии вследствие развития процессов выщелачивания и сульфатной коррозии, обусловленных химическим составом водоема. Металлические элементы характеризуются значительным коррозионным износом, превышающим 40% от первоначальной толщины. Получена эмпирическая зависимость прочности бетона от параметра добротности Q , подтверждающая возможность использования георадарных методов для экспресс-оценки технического состояния гидротехнических сооружений. Выполнена оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций по показателю морозостойкости. Сформулированы рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации Кучукского гидроузла, соответствующие требованиям нормативных документов в области водного хозяйства и мелиорации.

Abstract. The Kuchuk hydraulic system located on Lake Kuchuk (Altai Territory) operates under the influence of aggressive saline waters, which significantly affects the durability and reliability of its structures. The article

presents the results of a comprehensive survey of concrete and metal elements of the hydraulic system carried out within the framework of the safety declaration examination. The studies included visual inspection, destructive and non-destructive concrete strength testing, laboratory testing of drilled cores, as well as ground penetrating radar surveys with analysis of volumetric moisture content and concrete quality factor.

It was established that concrete structures are in a limited serviceable condition due to leaching and sulfate corrosion processes caused by the chemical composition of the reservoir water. Metal elements are characterized by significant corrosion wear exceeding 40% of the original thickness. An empirical relationship between concrete compressive strength and quality factor Q was obtained, confirming the applicability of ground penetrating radar methods for rapid assessment of hydraulic structure condition. The residual service life of reinforced concrete structures was assessed based on frost resistance. Recommendations aimed at ensuring safe operation of the Kuchuk hydraulic system in accordance with water management and reclamation standards are formulated.

Введение. Гидротехнические сооружения, эксплуатируемые в условиях воздействия агрессивных вод, требуют повышенного внимания к вопросам надежности и долговечности, поскольку химический состав воды способен существенно ускорять процессы коррозии конструкционных материалов [1, 2]. Особую группу риска представляют сооружения, расположенные на соленых и горько-соленых водоемах, где совместное действие химической агрессии, переменного увлажнения и температурных факторов приводит к ускоренной деградации бетона и металла [3–5].

Кучукский гидроузел расположен на озере Кучук Алтайского края — горько-соленом водоеме, который более 200 лет используется для добычи мирабилита (глауберовой соли). По химическому составу воды относятся к хлоридно-гидрокарбонатным магниево-калиевым (натриевым) с минерализацией порядка 1 г/л [6]. Гидроузел эксплуатируется свыше 60 лет и включает земляную насыпную плотину, водосбросное сооружение и водозабор с насосной станцией.

В ходе очередной экспертизы декларации безопасности гидротехнического сооружения, выполненной в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2011 и СП 47.13330.2016, выявлены дефекты бетонных и металлических конструкций, указывающие на ограниченно работоспособное состояние отдельных элементов. Цель работы заключается в анализе технического состояния сооружений Кучукского гидроузла в условиях воздействия агрессивных соленых вод, оценке остаточ-

ного ресурса конструкций и разработке рекомендаций по обеспечению их безопасной эксплуатации.

Материалы и методы исследования. Классификация технического состояния конструкций выполнена в соответствии с ГОСТ 31937–2011. Расчет остаточного ресурса железобетонных элементов осуществлялся по показателю морозостойкости как наиболее неблагоприятному фактору долговечности при эксплуатации в условиях переменного увлажнения и отрицательных температур [7].

Оценка технического состояния конструкций Кучукского гидроузла выполнена на основе комплекса полевых и лабораторных исследований, включающих:

- визуальное обследование бетонных и металлических конструкций с фиксацией дефектов и повреждений;
- неразрушающий контроль прочности бетона ультразвуковым и механическим методами;
- лабораторные испытания кернов бетона на прочность, морозостойкость и водонепроницаемость;
- ультразвуковой контроль остаточной толщины металлических элементов водосбросного сооружения;
- георадарные исследования бетонных конструкций с построением вертикальных и горизонтальных разрезов по параметрам объемной влажности W и добротности Q .

Классификация технического состояния конструкций выполнена в соответствии с ГОСТ 31937–2011. Расчет остаточного ресурса железобетонных элементов осуществлялся по показателю морозостойкости как наиболее неблагоприятному фактору долговечности при эксплуатации в условиях переменного увлажнения и отрицательных температур [7].

Результаты и обсуждение

Состояние бетонных конструкций. В результате визуального обследования бетонных элементов водосбросного сооружения выявлены продольные и поперечные трещины в ремонтном слое, следы фильтрации воды через трещины, сопровождающиеся выщелачиванием цементного камня (коррозия I рода), а также проявления сульфатной коррозии (коррозия III рода). Зафиксированы дефекты, связанные с качеством ранее выполненных ремонтных работ, включая холодные швы и отслаивание защитной рубашки бетона от основного тела конструкции.

Лабораторные и неразрушающие испытания показали, что плотность бетона составляет в среднем $2,206 \text{ т/м}^3$, а водонепроницаемость соответствует классу W6. Средние значения прочности бетона защитной рубашки превышают прочность бетона основного тела сооружения приблизительно на 5 МПа, что свидетельствует о частичной деградации старого бетона. После испытаний на морозостойкость прочность бетона рубашки снизилась на 15%, а бетона тела — на 30...50%, при этом морозостойкость не соответствует нормативным требованиям (менее 5 циклов), что указывает на исчерпание долговечности материала [8, 9].

Состояние металлических конструкций.

Металлические элементы водосбросного сооружения, включая направляющие и опоры шандор, характеризуются равномер-

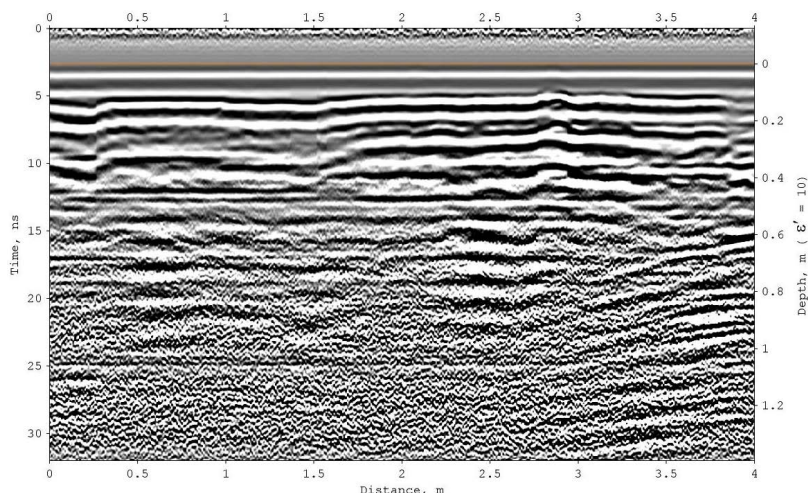


Рис. 1. Георадарный разрез бетонных конструкций по профилю обследования

ной и язвенной коррозией. По результатам ультразвукового контроля установлено, что средний износ металла превышает 40% от первоначальной толщины по сортаменту, что соответствует ограниченно работоспособному состоянию и требует принятия инженерных мер по восстановлению или замене элементов [10].

Георадарные исследования и анализ параметра Q . В зоне исследований выполнено 148 профилей георадарного зондирования бетонных конструкций. Пример георадарного разреза по профилю представлен на рис. 1.

Анализ данных показал, что объемная влажность бетона изменяется в пределах 15...22% и возрастает с глубиной. Пространственное распределение объемной влажности представлено на рис. 2а. Параметр добротности Q изменяется от 3,4 до 11,6. Георадарный разрез по параметру добротности приведен на рис. 2б.

Установлена обратная линейная зависимость между параметром Q и прочностью бетона на сжатие:

$$R = 35 - Q,$$

где R – прочность бетона на сжатие, МПа; Q – параметр добротности. Полученная зависимость согласуется с результатами ранее выполненных исследований в области неразрушающего контроля бетона [11–13] и подтверждает перспективность использования георадарных методов при обследовании гидротехнических сооружений.

В зоне исследований выполнено 148 профилей георадарного зондирования бетонных конструкций. Анализ данных показал, что объемная влажность бетона изменяется в пределах 15...22% и возрастает с глубиной. Резкое увеличение влажности наблюдается в зоне контакта старого и нового бетона, что подтверждено результатами лабораторных испытаний кернов. Параметр добротности Q изменяется от 3,4 до 11,6.

Оценка остаточного ресурса. Оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций выполнена по показателю морозостойкости:

$$T = C / t_0,$$

где T – остаточный ресурс эксплуатации, лет; C – количество циклов замораживания-оттаивания, выдерживаемых бетоном ($C = 5$); t_0 – среднее число циклов в год ($t_0 = 1$).

Полученные значения остаточного ресурса свидетельствуют о необходимости реализации комплекса ремонтно-восстановительных мероприятий в ближайшей перспективе для предотвращения аварийных ситуаций.

Выводы

1. Установлено, что эксплуатация Кучукского гидроузла в условиях воздействия агрессивных соленых вод приводит к ускоренной деградации бетонных и металлических конструкций.
2. Основными механизмами разрушения бетона являются процессы выщелачивания и сульфатной

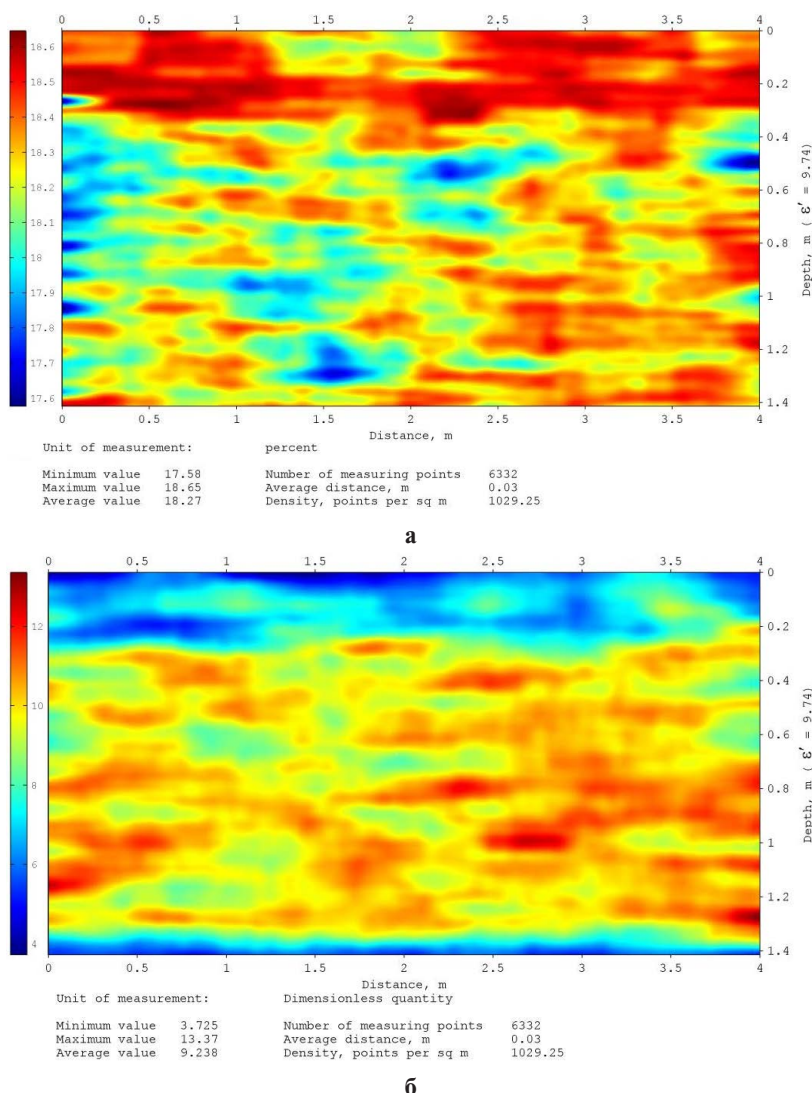


Рис. 2. Георадарный разрез:

а – по объемной влажности W ; б – по добротности Q

коррозии, сопровождающиеся снижением прочности и морозостойкости материала.

3. Выявлена устойчивая эмпирическая зависимость прочности бетона от параметра добротности Q , что позволяет использовать георадарные исследования для оценки технического состояния сооружений без их вскрытия.

4. Коррозионный износ металлических конструкций водосбросного сооружения превышает 40%, что требует их замены или усиления.

5. Для обеспечения безопасной эксплуатации Кучукского гидроузла рекомендуется реализация комплекса инженерных мероприятий, включающих восстановление бетонных конструкций, замену металлических элементов и организацию мониторинга технического состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
2. Сокольников Ю.Н. Инженерная морфодинамика берегов и ее приложения. Киев: Наукова думка, 1976. 226 с.
3. Neville A.M. Properties of Concrete. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

4. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill, 2014. 684 p.
5. Neville A. Chloride attack of reinforced concrete: an overview. // Materials and Structures. 1995. Vol. 28. P. 63–70.
6. Пилипенко Т.В., Куприянов Д.Е. Особенности эксплуатации гидротехнических сооружений в условиях соленых вод // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 45–52.
7. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
8. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
9. СП 11-105–97. Инженерно-геофизические изыскания для строительства.
10. Melchers R.E. Modelling of marine immersion corrosion for mild and low alloy steels // Corrosion Science. 2003. Vol. 45. P. 923–940.
11. Daniels D.J. Ground Penetrating Radar. London: IET, 2004. 734 p.
12. Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G. Testing of Concrete in Structures. London: Taylor & Francis, 2006. 352 p.
13. Huginschmidt J., Kalogeropoulos A. The inspection of retaining walls using GPR // Journal of Applied Geophysics. 2009. Vol. 67. P. 335–344.

REFERENCES

14. Zenkovič V.P. Osnovy učeniya o razvitií morskix beregov. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 710 s.
15. Sokol'nikov Ju.N. Inženernaja morfodinamika beregov i ee prilozheniya. Kiev: Naukova dumka, 1976. 226 s.
16. Neville A.M. Properties of Concrete. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

17. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill, 2014. 684 p.
18. Neville A. Chloride attack of reinforced concrete: an overview // Materials and Structures. 1995. Vol. 28. P. 63–70.
19. Pilipenko T.V., Kuprijanov D.E. Osobennosti èkspluatatsii gidrotexničeskix sooruzhenij v uslovijax solènyx vod // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. 2021. № 4. S. 45–52.
20. GOST 31937–2011. Zdanija i sooruzhenija. Pravila obsledovanija i monitoringa tehničeskogo sostojanija.
21. SP 47.13330.2016. Inženernye izyskanija dlja stroitel'stva. Osnovnye položenija.
22. SP 11-105–97. Inženerno-geofizičeskije izyskanija dlja stroitel'stva.
23. Melchers R.E. Modelling of marine immersion corrosion for mild and low alloy steels // Corrosion Science. 2003. Vol. 45. P. 923–940.
24. Daniels D.J. Ground Penetrating Radar. London: IET, 2004. 734 p.
25. Bungey J.H., Millard S.G., Grantham M.G. Testing of Concrete in Structures. London: Taylor & Francis, 2006. 352 p.
26. Huginschmidt J., Kalogeropoulos A. The inspection of retaining walls using GPR // Journal of Applied Geophysics. 2009. Vol. 67. P. 335–344.

Куприянов Даниил Евгеньевич, помощник гл. инженера проектов, info@zsgvh.ru; **Ефременко Дмитрий Анатольевич**, ген. директор, info@zsgvh.ru; **Глистин Михаил Владимирович**, канд. с.-х. наук, гл. инженер проектов, info@zsgvh.ru (Запсибгипроводхоз, г. Новосибирск, Россия); **Пилипенко Татьяна Викторовна**, канд. техн. наук доцент, кафедра ГТСБЭ, t.v.pilipenko@psawt.ru (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск, Россия).

УДК 627.157; 002.637 (282.247.41)

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-14-18

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ, Е.Н. САМАРИН, Т.А. ИЛЬИНА, Б.И. КОРЖЕНЕВСКИЙ

Ключевые слова: тяжелые металлы, водная растительность, загрязнение, донные отложения, водные объекты, мониторинг

Keywords: heavy metals, aquatic vegetation pollution, sediments, water bodies, monitoring

Аннотация. В условиях современной антропогенной экспансии, экосистема водных объектов является источником накопления загрязнителей, а донные отложения водохранилищ, в большинстве случаев – потенциальным барьером для дальнейшего перемещения одних из наиболее токсичных загрязнителей – тяжелых металлов. Обязательным атрибутом таких объектов выступает водная растительность, являющаяся, с одной стороны, фактором осадконакопления тонкой фракции – активно-го сорбента тяжелых металлов, а с другой – непосредственным накопителем, депонирующим тяжелые металлы. Рассмотрены вопросы изучения загрязнения водной растительности на территории Иваньковского водохранилища. Определены соотношения различных тяжелых металлов в корневищах, стеблях и листьях камыша озерного (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla). Представлены некоторые методические и экспериментальные действия при мониторинге загрязнения. Отмечено, что водная растительность в меньшей степени, чем донные отложения, является средой, депонирующей загрязнение тяжелыми металлами исследуемого объекта.

Abstract. In the conditions of modern anthropogenic expansion, the ecosystem of water bodies is a source of accumulation of pollutants, and the sediments of reservoirs, in most cases, are a potential barrier to the further movement of one of the most toxic pollutants – heavy metals. An obligatory attribute of such objects is aquatic vegetation, which, on the one hand, is a factor in the sedimentation of a fine fraction – an active sorbent of heavy metals, and on the other – a direct accumulator depositing heavy metals. The issues of studying the pollution of aquatic vegetation on the territory of the Ivan'kovo reservoir are considered. The ratios of various heavy metals in the rhizomes, stems, and foliage of lake reed (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla) have been determined. Some methodological and experimental actions in pollution monitoring are presented. It is noted that aquatic vegetation, to a lesser extent than bottom sediments, is an environment depositing heavy metal pollution of the studied object.

В водной среде загрязняющие вещества концентрируются в основном в составе донных отложений (ДО), влияя непосредственно и опосредовано на качество воды. ДО водных объектов можно считать конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте: вследствие своих высоких сорбционных свойств тонкие фракции сорбируют достаточно широкий комплекс загрязнителей. Степень загрязнения ДО может рассматриваться в качестве интегрального показателя техногенной нагрузки на водный объект, а также является информацией об интенсивности и направленности инженерно-хозяйственной деятельности на сопредельной водосборной территории. Изучение загрязнения ДО водных объектов химическими элементами продолжает оставаться одной из важных проблем геоэкологии и охраны окружающей среды. Отсутствие формальной нормативной базы по этим показателям привело к различным и многообразным подходам и методам решений поставленной задачи. В настоящее время состояние водных объектов, в значительной степени, определяется техногенными факторами. Наиболее опасными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (ТМ): Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и As. Исследования ДО водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения для водных объектов, являющимися как источниками водообеспечения, так и рекреационными территориями [1, 2].

Наряду с ДО, водные и прибрежно-водные растения являются важнейшим компонентом водных биоценозов: они оказывают значимое средообразующее влияние, изменяя газовый режим и активную реакцию воды, принимая участие в процессах перераспределения веществ между ДО и водой [3]. Прибрежно-водная растительность — важный элемент водных экосистем. Ее изучение дает возможность охарактеризовать экологическое состояние, понять закономерности их формирования и функционирования. Растения этой группы широко используются в качестве биофильтров для очистки сточных вод, служат индикаторами изменения качества воды, имеют большое значение для рыбного хозяйства и др. [4].

Общие положения. Обязательное присутствие в растениях небольших количеств некоторых ТМ обусловлено их участием в целом ряде естественных процессов метаболизма, роста и развития. В качестве микроэлементов ТМ, в частности, могут входить в состав естественных биологических ферментов, которые регулируют белковый, углеводный и жировой обмен, участвовать в синтезе нуклеиновых кислот. Однако при избытке ТМ в окружающей среде динамическое равновесие нарушается, и те же химические элементы, попадая в растение в значительно больших количествах, уже могут вызывать сильное токсическое воздействие [5–7].

Накапливая элементы, высшая водная растительность (ВВР) может удерживать загрязнители, исключая их из круговорота в водоеме практически в течение всего вегетационного периода, до своего отмирания и разложения, и играть роль очистителя [8]. Поэтому изучение химического состава водных растений, являющихся мощным аккумулятором загрязнителей, позволяет выявить наиболее контрастные техногенные биогеохимические аномалии, образующиеся при загрязнении воды и ДО. ВВР оказывает разностороннее воздействие на динамику водных масс и ДО. Прежде всего, она оказывает механическое сопротивление движению воды и тем самым способствует накоплению взвешенных в воде веществ. Также растительность сорбирует различные вещества на листьях и стеблях и поглощает их в процессе обмена с внешней средой [9].

Растения, располагающиеся на границе водоемов или в прибрежной зоне, имеющие постоянный контакт с водой и развитую корневую систему, имеют возможность поглощать ТМ как из почвы, так и из водной среды. Кроме того, прибрежная растительность, находясь в более комфортных условиях, способна образовывать достаточно плотные заросли, превращающиеся в своеобразный накопитель веществ, которые переносятся в форме различных потоков с поверхности суши в водоем либо (в период сезонных паводков) из воды на сушу. Роль накопителя усиливается, когда в составе задерживаемых веществ находятся поллютанты различной природы. Часто в составе загрязняющих веществ присутствуют источники ТМ. Следовательно, растения, формирующие прибрежный барьер, потенциально могут находиться в условиях наиболее длительного их воздействия. В этой связи важным является изучение степени накопления ТМ прибрежно-водной растительностью и выявление ее видов, способных к высокой аккумуляции этих эле-

ментов [10]. ВВР составляют неотъемлемый компонент водной экосистемы и являются биологическими ресурсами и индикаторами состояния водной среды. Мониторинг накопления ТМ прибрежно-водной растительностью водоемов является одним из значимых инструментов контроля процессов техногенного воздействия на окружающую среду, вызванного функционированием объектов хозяйственной деятельности [11].

Объекты и методы исследования. Иваньковское водохранилище — один из главных источников водоснабжения г. Москвы, поэтому проблема его загрязнения в связи с возрастающей техногенной нагрузкой на его водосборную площадь и ухудшением качества воды, подаваемой в канал им. Москвы, продолжает оставаться актуальной. Приведена оценка загрязнения ДО и камыша озерного (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla) ряда районов водохранилища следующими микроэлементами: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, As, а также макроэлементами: Fe и Mn. В табл. 1 указаны пункты, в которых отбирались образцы иловатых отложений и растительности, в непосредственной близости друг от друга.

Тонкие фракции ДО (<20 мкм) способны удовлетворять требованиям оценки содержания в них ТМ, предпочтение следует отдавать быстрому, простому и экономичному отделению и анализу [12]. Эта фракция довольно близко соответствует взвешенному веществу в толще водного объекта [13]. Аккумуляцию ТМ ДО рекомендуется оценивать с помощью «индекса геоаккумуляции» [14], который характеризует относительную кратность загрязнения ДО (относительно природного фона) во фракциях грунта <20 мкм, где геохимическая фоновая концентрация элемента оценивается по [15, 16]. ДО подразделяются на классы качества (игео-классы) по каждому ТМ и As. Фоновое значение дается с определенным запасом, и каждому игео-классу присвоен уровень загрязнения и техногенной нагрузки [14]. Кроме загрязнения ДО изучено содержание ТМ в прибрежной водной растительности водохранилища — а именно для изучения выбран камыш озерный. Камыш озерный — вид травянистых растений семейства осоковые (*Cyperaceae*) [17], выбран как один из наиболее массовых представителей прибрежной ВВР прибрежной зоны Иваньковского водохранилища.

Отобранный камыш (растение целиком, включая корневища) высушивался при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Высушенные расте-

Таблица 1

Точки отбора образцов растений (камыш) и ДО

№ пробы	Описание	Глубина, см
Т1 (т. 5 ДО)	Р. Донховка лодочная станция, левый берег, причал лодочной станции	60...70
Т2 (т. 25 ДО)	Мошковский залив, левый берег вблизи устья	40...50
Т3 (т. 75 ДО)	Остров Омутня, бечевник (о. Клиницы, 100 м до о. Омутня)	10...20
Т4 (т. 58 ДО)	Бабенский залив, левый берег, 100 м выше устья, причал	70...80
Т5 (т. 76 ДО)	Остров Б. Сухаринский, нижняя оконечность, 100 м от берега к западу	50...60

ния разделялись на три части: корневище, стебель, листовые пластинки в свободном расположении. Каждая часть растения измельчалась для удобства размещения в кварцевой чашке для выпаривания. Предварительное сжигание производилось в этих чашках на песчаной бане под воздушной вытяжкой до прекращения выделения дыма. Затем полученный материал для дальнейшей подготовки помещался в муфельную печь. Согласно рекомендациям при температуре 550 °С образцы сжигаются три часа. Полученный материал взвешивается и далее, после остывания, готов для последующих действий.

Аналитические исследования проводились на спектрометре «Спектроскан-МАКС». В рабочей емкости из порошка борной кислоты при давлении 4 атм формируется подложка (гильза) таблетки, которая заполняется полученным при сжигании материалом, далее материал уплотняется прессом при давлении 4 атм. Программа позволяет менять набор определяемых данных. В нашем случае определялись Pb, As, Ni, Cu, Cr, Zn, Fe, Co, Mn, Cd, Mo. Обычно на анализ одного образца затрачивается 30...40 мин. Осуществлялось трехкратное повторение определений и для дальнейшего анализа использовались средние результаты.

Обсуждение результатов. В табл. 2 приведены концентрации ТМ в ДО изученных районов водохранилища, также дана оценка загрязнения ДО по «индексу геoaккумуляции».

Содержание практически всех ТМ в изученных ДО соответствует уровням от «фоновому» до «незагрязнен-

ного». Исключение составляют Co и Zn. Содержание Co в районе Большого Сухаринского острова напротив г. Конаково соответствует 2-му игео-классу – «умеренно загрязненному» уровню, что отчасти может объясняться техногенной нагрузкой. Содержание Zn в ДО в районе моторно-лодочной станции, а также Мошковского залива, соответствует 2-му классу – «умеренно загрязненному» уровню. В ДО р. Бабня содержание Zn соответствует 3-му игео-классу – «средне загрязненному» уровню. Эти уровни содержания Zn могут быть объяснены активным использованием водного транспорта, при этом они не представляют существенной опасности вторичного загрязнения водной среды. Более подробные данные о характере загрязнения ТМ и мышьяком ДО приведены в [12, 18].

В табл. 3 приведены концентрации ТМ в прибрежной водной растительности изученных районов водохранилища – в трех основных компонентах (корневища, стебли, листья) для определения закономерностей загрязнений.

На основании полученных данных отмечается, что наибольшее количество ТМ, в особенности Fe, находится в корневой системе растений. Это свидетельствует о том, что она является аккумулялирующей средой, поглощающей ТМ из ДО, при этом часть ТМ транзитом попадают в стебель, и далее в листья. Поскольку корневая система камыша отличается разветвленной структурой, ее можно рассматривать как компонент ДО, который после отмирания остается в отложениях с аккумулярованными в ней запасами загрязняющих веществ.

Значительная часть As во всех образцах находится в корневищах, содержание Zn и Cr в корневищах преобладают только в районе причала лодочной станции и в Омутнинском заливе. В районах причала на р. Бабня (Бабенский залив) и Мошковского залива, а также о. Большой Сухаринский Zn и Cr накапливаются в основном в листьях, что может быть связано с активным использованием водного транспорта. Содержание Co сосредоточено в корневищах камыша в Бабенском заливе, в остальных районах соотношение распределено между стеблями и листьями приблизительно в равной пропорции.

Для изученных районов рассчитано отношение содержания ряда наиболее характерных элементов – Cr, Zn, As, Fe – в ДО к их содержанию в корневой системе камыша (рисунок).

Содержание As в корнях либо равно (заливы Омутнинский и Бабенский), либо существенно превышает (лодочная станция и о. Большой Сухаринский) его содержа-

Содержание ТМ в ДО

№	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe, %	Mn	Cr	Cd
05	33/1	17,4/0	401/2	46/0	51/0	9,0/0	–	–	139/1	0,37/0
25	26/0	10,3/0	487/2	43/0	52/0	6,7/0	–	–	147/1	0,54/1
58	44/1	14,6/0	585/3	33/0	41/0	3,9/0	–	–	214/1	0,54/1
75	21/0	9,9/0	227/1	–	25/0	52,4/1	5,17/0	1616/1	116/0	–
76	28/0	11,0/0	176/1	–	29/0	66,3/2	4,13/0	1284/1	265/1	–

Примечание. Числитель – концентрация, мг/кг; знаменатель – игео-класс.

Таблица 2

Содержание ТМ в камышах, мг/кг

№	Часть растения	Pb	As	Cu	Cr	Zn	Fe	Co	Mn	Mo
1	Листья	–	4,20	–	4,88	–	1301,47	17,98	–	–
	Стебли	–	7,15	–	6,11	1,32	991,73	18,43	–	–
	Корневища	–	76,74	–	22,42	67,66	80618,73	–	–	–
2	Листья	40,82	28,96	–	24,54	120,44	4160,73	8,56	974,59	2,21
	Стебли	54,88	44,88	–	14,32	34,50	3306,90	9,56	605,08	0,60
3	Листья	–	4,51	–	5,49	–	1561,47	17,12	258,41	–
	Стебли	–	5,67	–	4,87	–	2018,10	14,52	1166,00	–
	Корневища	5,00	14,89	–	15,32	27,87	11351,47	–	1404,78	3,32
4	Листья	8,92	0,38	9,41	26,07	2163,60	15,14	–	–	–
	стебли	8,23	–	10,55	5,23	2584,47	13,513	–	–	1,35
	Корневища	1,02	9,79	–	12,62	53,51	5067,63	6,15	–	–
5	Листья	24,38	19,10	–	23,16	266,69	5042,13	6,54	200,60	–
	Стебли	–	7,87	–	4,12	29,84	1237,00	18,39	4,02	–
	Корневища	–	33,72	–	28,67	61,14	32744,73	–	–	–

Таблица 3

ние в ДО. В растительности As содержится в основном в корневищах, что свидетельствует о том, что корневая система камыша является аккумулярующей средой As. Содержание Zn в ДО существенно превышает его содержание в корнях растительности (от 3...6 до 21 раз в Омутнинском заливе). Это означает, что прибрежная растительность не является аккумулятором Zn из ДО. В то же время в Бабенском заливе и вблизи о. Большой Сухаринский содержание Zn сосредоточено в основном в стеблях и листьях камыша — на этих участках корневища являются транзитом Zn из ДО к листьям.

Содержание Cr, как и содержание Zn, в ДО значительно превышает его содержание в корневищах (от 6 до 14 раз). При этом практически во всех районах исследований оно сосредоточено именно в корневой системе, что в свою очередь свидетельствует о слабом поступлении Cr из ДО в растительность. Также и содержание Fe в ДО, соответствуя незагрязненным уровням и гео-классов вблизи о. Большой Сухаринский равно содержанию в корневищах, а в Бабенском заливе превышает в 10 раз его же содержание в корневищах камыша. Принимая во внимание, что в корневищах содержится основная масса Fe, можно сделать вывод об его умеренной аккумуляции корневой системой из ДО.

Из полученных результатов отмечено, что прибрежная водная растительность аккумулирует незначительную часть ТМ из ДО, исключение составляет только поглощаемый корневищами As. Водная растительность, расположенная в прибрежной зоне, в локальных районах, не может существенно влиять на перемещение взвешенного вещества в водохранилище и на процесс осадконакопления. Значимое влияние на осадконакопление растительность оказывает только в районах своего непосредственного произрастания.

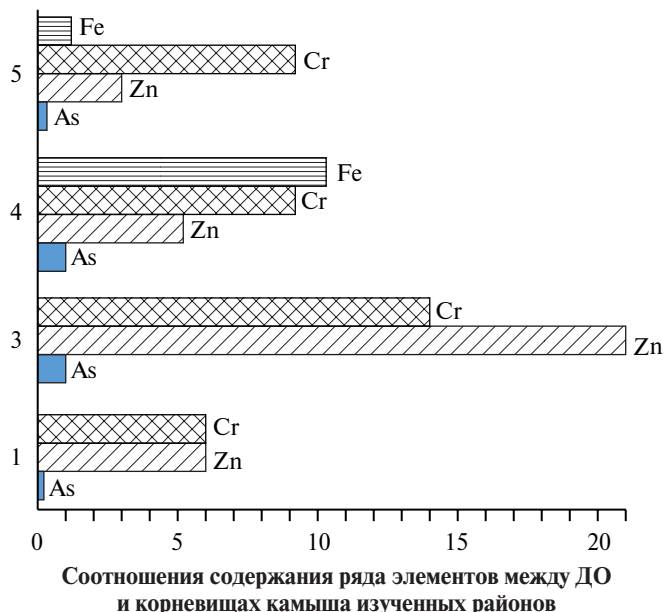
Заключение. Основная часть ТМ и мышьяка аккумулируется в корневой системе водной растительности, что в совокупности с мощной и разветвленной структурой позволяет считать корневую систему камыша значимой аккумулярующей средой. Таким образом, попадание в корневую систему ТМ выводит их из оборота системы вода—ДО.

Содержание большинства ТМ в корневой системе значительно уступает их содержанию в ДО, исключение составляет только поглощаемый корнями As. Это свидетельствует о том, что водная растительность не может существенно влиять на загрязнение ТМ отложений водохранилища. В комплексе с ДО, водная растительность является сорбентом ТМ и мышьяка, удаляя их из водной толщи.

Водная растительность, расположенная в прибрежной зоне, является локальным фактором осадконакопления тонких фракций. Она не может существенно влиять на перемещение взвешенного вещества и на процесс осадконакопления в масштабах водохранилища. Показатели содержания ТМ в ДО и прибрежной растительности является индикатором состояния загрязнения водного объекта и его биологических компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техногенное загрязнение речных экосистем / Под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
2. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженев-



ский, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15–19.

3. Особенности эколого-санитарного состояния рыбохозяйственных водоемов в условиях лесостепной зоны Челябинской области / М.А. Дерхо, Л.В. Чернышова, Т.Н. Макарова, О.С. Улитина, С.Н. Бурьянов // АПК России. 2022. Т. 29. № 2. С. 192–199.

4. Дюкова А.С., Евграфова А.Б., Третьякова А.А. Оценка экологического состояния озера Галичское Костромской области по состоянию прибрежно-водной растительности // Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России: материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2020. С. 160–163.

5. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.

6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

7. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants // J. Exp. Bot. 2003. Vol. 54. Pp. 2601–2613.

8. Prasad M.N.V. Heavy Metal Stress in Plants // From Biomolecules to Ecosystems. Springer, 2004. 462 p.

9. Казмирук В.Д. Накопление тяжелых металлов высшей водной растительностью различных биотопов устьевой области Волги // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы III Всерос. конф. по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова (Борок, 11–16 октября 2008 г.). Борок, 2008. С. 30–33.

10. Мурашко Ю.А., Кравченко И.В. Содержание тяжелых металлов в осеке водяной (*carex aquatilis wahlenb.*) прибрежно-водных биотопов природного парка «Нумто» // Вестник КрасГАУ. 2017. № 8(131). С. 104–110.

11. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Жалко С.В. Минимальное и максимальное накопление тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью водоемов вблизи промышленного центра г. Речица // Бюллетень науки и практики. 2017. № 2(15). С. 99–109.

12. Закономерности загрязнения донных отложений водных объектов тяжелыми металлами / Н.В. Коломийцев, Г.Ю. Толкачев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина. М.: ВНИИГиМ, 2023. 180 с. ISBN 978-5-907464-44-5.

13. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µM or <2 µM? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. P. 637–642.

14. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H.24. S. 778–783.

15. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.

16. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in

Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. Pp. 175–192.

17. 298. *Scirpus lacustris* L. [*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla] – Камыш озерный / И.А. Губанов, К.В. Киселева, В.С. Новиков, В.Н. Тихомиров // Иллюстрированный определитель растений Средней России: в 3 т. М.: Товарищество науч. изд. КМК: Ин-т технол. исслед. 2002. Т. 1: Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). 527 с. ISBN 5-87317-091-6.

18. Содержание тяжелых металлов и их распределение по формам существования в донных отложениях Ивановского водохранилища и его притоков / Г.Ю. Толкачев, Б.И. Корженевский, Н.В. Колосийцев, Т.А. Ильина // Безопасность жизнедеятельности. 2023. № 4(268). С. 31–38.

REFERENCES

1. Technogenic pollution of river ecosystems / Edited by V.E. Rainin, G.N. Vinogradova. Moscow: Scientific World, 2002. 140 p.

2. Kolomiitsev N.V., Korzhenevskiy B.I., Il'yina T.A., Getman E.N. Assessment of the anthropogenic load on water bodies by pollution of sediments // Melioration and water management. 2015. No. 6. pp. 15–19.

3. Derkho M.A., Chernyshova L.V., Makarova T.N., Ulitina O.S., Burylov S.N. Features of the ecological and sanitary condition of fishery reservoirs in the conditions of the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region // Agroindustrial Complex of Russia. 2022. Vol. 29. No. 2. pp. 192–199.

4. Dyukova A.S., Evgrafova A.B., Tret'yakova A.A. Assessment of the ecological state of the Lake Galichskoye in the Kostroma region by the state of coastal and aquatic vegetation // Nature management and nature conservation: Protection of natural monuments, biological and landscape diversity of the Tomsk region and other regions of Russia. Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. 2020. Pp. 160–163.

5. Il'yin V.B., Syso A.I. Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 229 p.

6. Kabata-Pendias A., Pendias H. Microelements in soils and plants. Moscow: Mir Publ., 1989, 439 p.

7. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants // J. Exp. Bot. 2003. Vol. 54. Pp. 2601–2613.

8. Prasad M.N.V. Heavy Metal Stress in Plants // From Biomolecules to Ecosystems. Springer, 2004. 462 p.

9. Kazmiruk V.D. Accumulation of heavy metals by higher aquatic vegetation of various biotopes of the estuarine region of the Volga // Anthropogenic impact on aquatic organisms and ecosystems: Proceedings of the III All-Russian Conference on Aquatic Toxicology dedicated to

the memory of B.A. Flerov (Borok, October 11–16, 2008). Borok: 2008. Pp. 30–33.

10. Murashko Yu.A., Kravchenko I.V. Heavy metal content in sedge (*Carex aquatilis* wahlenb.) of coastal-aquatic biocenoses of the Numto Nature Park // Bulletin of KrasGAU. 2017. № 8(131). Pp. 104–110.

11. Daineko N.M., Timofeev S.F., Zhadko S.V. Minimum and maximum accumulation of heavy metals by coastal aquatic vegetation in reservoirs near the industrial center of Rechitsa // Bulletin of Science and Practice. 2017. No. 2(15). Pp. 99–109.

12. Kolomiitsev N.V., Tolkachev G.Yu., Korzhenevskiy B.I., Il'yina T.A. Patterns of pollution of sediments of water bodies by heavy metals. Moscow: VNIIGiM, 2023. 180 p. ISBN 978-5-907464-44-5

13. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µm or <2 µm? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. Pp. 637–642.

14. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H.24. S. 778–783.

15. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered elements in soils. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. 235 p.

16. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. Pp. 175–192.

17. Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S., Tikhomirov V.N. 298. *Scirpus lacustris* L. [*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla] – Lake reed // Illustrated determinant of plants of Central Russia: in 3 volumes. Moscow: Association of Scientific Publishers. KMK: In-t techno. research. 2002. Vol. 1: Ferns, horsetails, plauns, gymnosperms, angiosperms (monocotyledons). 527 p. ISBN 5-87317-091-6.

18. Tolkachev G.Yu., Korzhenevskiy B.I., Kolomiitsev N.V., Il'yina T.A. The content of heavy metals and their distribution by forms of existence in the sediments of the Ivan'kovo reservoir and its tributaries // Safety of life. 2023. No. 4 (268). Pp. 31–38.

Толкачев Глеб Юрьевич, канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, РАНк-26@yandex.ru; **Корженевский Борис Игоревич**, канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, 542609@list.ru (Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия); **Самарин Евгений Николаевич**, доктор геол.-минерал. наук, профессор геологического факультета, samarin@mail.ru, (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия); **Ильина Тамара Андреевна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, ristolanin@mail.ru (ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, Москва, Россия).

УДК 631.432.2

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-18-21

СВОЙСТВА ПОЙМЕННЫХ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

С.Э. БАДМАЕВА

Ключевые слова: пойменные земли, сельскохозяйственное использование, гумус, обменные катионы, подвижный фосфор, обменный калий, легкогидролизуемый азот

Keywords: floodplain lands, agricultural use, humus, exchangeable cations, mobile phosphorus, exchangeable potassium, easily hydrolyzable nitrogen

Аннотация. В поймах речных долин аккумулируются питательные элементы, поступающие с водоразделов и склонов водосбора в виде аллювиальных отложений с грунтовыми и паводковыми водами. Аллювиальные отложения являются источником улучшения агрохимических свойств почв и как следствие повышения плодородия. Кроме того, наилучшее оказывает существенное влияние на изменение состава растительных сообществ в пойме. Пойменные почвы, представленные аллювиальными – торфянисто-глебовыми почвами распространены в долинах рек Белый и Черный Июс в Республике Хакасия. Заблачивание этих почв происходит вследствие близкого залегания уровня грунтовых вод к дневной поверхности в притеррасной зоне и пониженных частях центральной области, а также плохого стока поверхностных вод при небольших уклонах местности и значительной закокоченности. Природно-климатические условия Средней Сибири, где распространены эти почвы, накладывают отпечаток на свойства и режимы пойменных земель, ко-

торые характеризуются продолжительными и суровыми зимними периодами, когда температура воздуха в иные годы достигает 30...35 °С. В таких условиях широкое распространение получают длительно-сезонно-промерзающие почвы, к которым относятся и пойменные земли. Мерзлые горизонты, являясь водоупором, препятствуют фильтрации поверхностных вод, в результате создается верховодка, сохраняющаяся в первой половине лета, что препятствует началу сельскохозяйственных работ. Исследования агрохимических свойств и режимов пойменных земель для интенсивного вовлечения в сельскохозяйственное производство для получения гарантированной урожайности культур в условиях Сибири является актуальным.

Abstract. The floodplains of river valleys accumulate nutrients coming from watersheds and catchment slopes in the form of alluvial deposits with groundwater and flood waters. Alluvial deposits are a source of improved agrochemical properties of soils and, as a result, increased fertility. In addition, the silt has a significant impact on the change in the composition of plant communities in the floodplain. Floodplain soils, represented by alluvial-peat-gley soils, are common in the valleys of the Bely and Cherny Ius rivers in the Republic of Khakassia. Waterlogging of these soils occurs due to the proximity of the groundwater level to the daytime surface in the red zone and low-lying parts of the central region, as well as poor runoff of surface

waters with low terrain slopes and significant muddy terrain. The natural and climatic conditions of Central Siberia, where these soils are common, affect the properties and regimes of floodplain lands, which are characterized by prolonged and severe winter periods, when the air temperature in other years reaches 30–35 °C. And in such conditions, long-term seasonally freezing soils, such as floodplain lands, are widespread. Frozen horizons, being a water barrier, prevent the filtration of surface waters, as a result, high water is created, which persists in the first half of summer, which prevents the start of agricultural work. Research of agrochemical properties and regimes of floodplain lands for intensive involvement in agricultural production in order to obtain guaranteed crop yields in Siberia is relevant.

Введение. Почвы пойм, как правило, интенсивно используются для выращивания овощных, кормовых и пропашных культур. Вовлечение аллювиальных почв в сельскохозяйственное производство сопровождается сменой растительности, систематическим внесением минеральных удобрений, интенсивными механическими обработками, орошением, что оказывает влияние на изменение их свойств и режимов.

Особенностью пойменного почвообразования в Сибири, по мнению Г.В. Добровольского [7], является то, что малый биологический круговорот элементов питания растений разворачивается на таком отрезке большого геологического круговорота, где преобладает интенсивный транзитный перенос минеральных элементов, не удержанных в биологическом круговороте на водоразделах и террасах. По мнению В.Р. Вильямса [6], Б.Б. Польшова [11], притеррасная пойма является как барьером, препятствующим выносу веществ из придолинных районов в русла реки и аккумулирующим их в болотных почвах притеррасья. Это может относиться к болотным почвам замкнутых понижений, примыкающих к бортам склонов, хотя возможно в меньшей степени. Поэтому формирование почв тесно связано с составом почвообразующих пород и грунтовых вод.

Особенностью, отличающей пойменные процессы сибирской территории от европейской, является кратковременность паводков, что связано с меньшим количеством осадков и сильной врезанностью русел рек в днища долин. Это способствует постепенному затуханию процессов поймности и аллювиальности, на что неоднократно указывал В.А. Ковда [9], связывая эволюцию поймы с уменьшением роли воды и усилением наземно-биологических факторов. Наложение на этот процесс особенностей резко континентального климата, гидрогеологических условий, почвообразующих пород приводит к выходу аллювиальных почв из-под влияния поймности и накоплению признаков зональных почв. Это усиливает разнообразие в морфологии и свойствах пойменных почв.

Пойменные торфянисто-глеевые почвы Республики Хакасия формируются в притеррасной части поймы и в других пониженных элементах рельефа, являются длительно-сезонно-промерзающими и характеризуются хорошо выраженным перегнойно-торфянистым горизонтом и значительной оглеенностью профиля. Почвы в основном слаборазвитые и подстилаются мощным галечниковым аллювием. По глубине залегания галечников выделены следующие виды: скелетные — кровля галечников находится на глубине 0...20 см; неразвитые — галечники находятся на глубине 20...40 см; почвы укороченного профиля — подстилаются галечником с глуби-

ны 40...80 см; почвы полного профиля — глубина залегания галечников ниже 80 см. Гранулометрический состав различный — от супесчаного до легко- и среднесуглинистого, причем в сухостепной зоне заметна определенная заиленность профиля из-за возрастания в этой зоне роли поемно-аллювиального фактора и процесса лессиважа в пойменном почвообразовании, которое проявляется в привносе, осадении и перемещении по профилю мелкодисперсных частиц. Значения рН в основном варьируют в слабокисло-слабощелочном интервале, а в сухостепной зоне бывают и щелочными [10].

Цель исследований. Рассмотреть агрохимические свойства пойменных земель, представленных торфянисто-глеевыми почвами.

Методы исследований. Заложено почвенный разрез на типичном участке с отбором образцов для агрохимического анализа по 10 см слоям почвы. В образцах почвы определялись: гумус, рН солевой, обменные катионы по методу Шмука, легкогидролизующий азот по Корнфилду, подвижный фосфор и обменный калий по Мачигину [1, 2].

Результаты и их обсуждение. Обследование пойменных земель проводилось на территории Озерновской осушительно-увлажнительной системы Ширинского района Республики Хакасия в 2024–2025 гг. с использованием беспилотного летательного аппарата. Преобладающими почвами на массиве являются лугово-болотные и в разной степени оглеенности торфяные почвы. Лугово-болотные почвы полного профиля являются переходными от незаболоченных территорий к заболоченным, они приурочены, главным образом, к окраинам осушаемого участка. В настоящее время эти почвы используются как пастбища и сенокосы среднего и низкого качества. Общая площадь лугово-болотных почв полного, укороченного и неразвитого профиля составляет 1118 га. Гумусовый горизонт слегка оторфован, оглеен, причем оглеение книзу заметно увеличивается, подстилающей породой являются аллювиальные отложения галечников, заполненные суглинками. Гранулометрический состав среднесуглинистый, гумусовый горизонт имеет мощность 30...40 см, процентное содержание гумуса высокое, что указывает на некоторую оторфованность верхнего горизонта.

В почвенно-мелиоративном отношении по уровню залегания грунтовых вод на массиве выделены три подрайона. Первый подрайон объединяет почвы постоянного увлажнения с глубиной залегания уровня грунтовых вод до 0,5 м и площадь составляет 1375 га. В этот подрайон включены торфяные маломощные, торфянисто и торфянисто — глеевые, а также лугово-болотные почвы. Торф характеризуется зольностью от 16 до 41 %, объемная масса составляет 0,84...1,14 г/см³, естественная влажность колеблется от 52,8 до 68 %. Второй подрайон площадью 742 га объединяет длительно — избыточно — увлажненные почвы с глубиной залегания грунтовых вод от 0,5 до 1 м. В этот подрайон входят торфянисто-глеевые почвы полного профиля и лугово-болотные почвы неразвитого, укороченного и полного профилей, а также местами скелетные почвы. Третий подрайон — это территория кратковре-

менного избыточного увлажнения с уровнем глубины залегания грунтовых вод глубже 1 м.

В геологическом отношении рассматриваемый земельный массив представлен следующим сложением. В пределах исследуемой территории и на прилегающей площади распространены терригенно-карбонатные отложения нижнего карбона и аллювиальные, аллювиально-делювиальные, делювиально-пролювиальные, аллювиально-делювиальные четвертичные отложения. Повсеместно на всем массиве распространены гравийно-галечниковые отложения, которые с поверхности перекрыты легкими и средними суглинками, реже тяжелыми, иногда супесями мощностью от 0,2...0,5 до 1,5...3 м. Вблизи от русла реки Белый Июс гравийно-галечниковые отложения залегают непосредственно с поверхности. В присклоновой части массива на контакте аллювиальных и пролювиально-делювиальных отложений вдоль русла реки Черная узкой полосой выделяется область аллювиально-делювиальных отложений, которые характеризуются галечно-щебнистыми и гравийно-дресвяными остатками с суглинистым и песчаным наполнителем. Коэффициенты фильтрации гравийно-галечниковых отложений варьируют в широких пределах в зависимости от состава и количества заполнителя.

До 1995 г. здесь эксплуатировалась Озерновская осушительно-увлажнительная система двухстороннего регулирования водного режима почв. Функция системы заключалась в понижении уровня грунтовых вод, которые залежали на глубине 40...50 см, а в засушливые годы проводился поверхностный полив для оптимизации водного режима сельскохозяйственных культур. Земли использовались для выращивания сеяных бобово-злаковых многолетних трав, т. е. как культурные сенокосы, для обеспечения кормовой базой животноводство. Полив производился поверхностным способом — затоплением по чекам. В настоящее время большая часть этих сельскохозяйственных угодий заброшены и заросли кустарниково-древесной растительностью, а часть земельных участков используется как пастбища.

Автором выбран типичный земельный участок с координатами 54.594588, 89.568333 и заложен почвенный разрез для отбора образцов на агрохимический анализ. Верхний горизонт почвы темноокрашенный, начиная с глубины 30...40 см прослеживаются признаки оглеения. В табл. 1 показано содержание гумуса, реакции среды, емкости катионного обмена, подвижного фосфора и обменного калия по слоям почвы.

Содержание гумуса в верхнем 0...20 см слое почвы характеризуется как высокое и составляет в среднем 12,35%. С глубиной показатель уменьшается и в слое 30...40 и 40...50 составляет соответственно 1,83...3,19%. Гидрологический режим пойменных земель оказывает влияние на содержание гумуса. Сезонное краткосрочное затопление паводковыми водами привносят продукты выветривания и верхние слои почвы обогащаются органическим веществом, а нижележащих горизонтах наблюдаются процессы оглеения.

Растения проявляют различную чувствительность к кислой и щелочной среде и наиболее устойчивым показателем является рН солевой вытяжки. Почва по степени кислотности, определяемой в солевой вытяжке, в верхних слоях близка к слабощелочной, а вниз по профилю — к нейтральной и изменяется в узких пределах — 7,4...6,7.

Емкость катионного обмена является важнейшей агрохимической характеристикой почвы, она находится в прямой зависимости от минерального состава почвы и ее генезиса, а также от содержания органического вещества. Обменные катионы осуществляют множество функций и определяют уровень плодородия почв. Состав обменных катионов в различных почвах отличается, и это обусловлено подстилающими материнскими породами, водно-солевым режимом почвы и т. д. Емкость катионного обмена в верхних слоях почвы очень высокая и составляет более 57,83...65,42 мг-экв/100 г почвы, затем идет постепенное уменьшение ЕКО до 53,09...46,46. В емкости катионного обмена преобладает содержание кальция, так в верхних горизонтах почвы его содержание колеблется от 33,18 до 38,87 мг-экв /100 г почвы. С глубиной идет постепенное снижение данного показателя. Кальций считается элементом-структурообразователем и большие запасы от емкости поглощения наблюдается в плодородных черноземных почвах. Содержание магния в составе обменных катионов незначительно уступает кальцию и является повышенным. В пределах рассматриваемого профиля почвы варьирование содержания магния составляет от 21,81 до 26,55 мг-экв/100 г почвы. Повышенное содержание магния способствует ухудшению структурного состояния и водопроницаемости почв, что отрицательно сказывается на водном режиме почвы.

Содержание подвижного фосфора в верхних 0...10 и 10...20 см слоях почвы составляет 1,95...2,35 мг/100 г почвы, характеризуется как среднее, и с глубиной переходит в градиацию — низкое и очень низкое. Среднее и низкое содержание подвижного фосфора объясняется тем, что большая часть фосфора сосредоточена в составе органических соединений и в составе фосфатов полуторных оксидов.

Калий выполняет важные функции в растительном организме: регулирует процессы фотосинтеза и обмена сахаров, белковый обмен, активизирует ферментативные комплексы; он влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органи-

Агрохимический состав почв

Глубина, см	Гумус, %	рН, сол.	Обменные катионы, мг-экв/100 г		P ₂ O ₅	K ₂ O
			Ca ²⁺	Mg ²⁺		
0...10	12,22 ± 1,84	7,4	33,18 ± 2,61	24,65 ± 2,03	1,95 ± 0,65	10,9 ± 1,84
10...20	12,51 ± 1,91	7,4	38,87 ± 2,72	26,55 ± 2,11	2,35 ± 1,12	10,0 ± 1,76
20...30	7,67 ± 1,23	7,2	28,44 ± 2,13	24,65 ± 1,99	1,08 ± 0,84	9,1 ± 1,56
30...40	1,83 ± 0,16	7,0	26,55 ± 2,09	23,70 ± 1,89	1,01 ± 0,73	7,9 ± 1,32
40...50	3,19 ± 0,85	6,7	24,65 ± 2,01	21,81 ± 1,78	0,93 ± 0,48	8,8 ± 1,44

Таблица 1

Содержание легкогидролизуемого азота

Глубина, см	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
мг/кг почвы	672 ± 13,98	714 ± 14,29	516 ± 13,26	364 ± 11,25	392 ± 12,03

нических кислот в растении, участвует в углеводном и азотном обмене. Содержание обменного калия по слоям почвы: в верхних слоях среднее, с глубиной падает до низкого. Таким образом, содержание доступных форм питательных элементов в изучаемых почвах характеризовалось как низкое, что объясняется генетическими особенностями изучаемых почв, видом угодий, составом фитоценоза, а также низкой активностью почвенных микроорганизмов из-за низкого температурного режима сезонно – длительно-промерзающих почв.

В табл. 2 представлено содержание легкогидролизуемого азота в рассматриваемой почве.

Легкогидролизуемый азот, являясь подвижной формой азота в почве, быстро расщепляются и усваиваются культурами. По нашим исследованиям, содержание этого элемента по всем рассматриваемым слоям почвы характеризуется как очень высокое и составляет от 364 до 714 мг/кг почвы.

Рассмотренные почвы с таким агрохимическим составом распространены по поймам рек Белый и Черный Июс и используются как сенокосы и пастбища. Аллювиальные почвы отличаются высоким потенциальным плодородием, но в засушливые годы, из-за недостатка влаги, урожайность на них низкая [3–5]. Засушливыми бывают не отдельные годы, а целые периоды в 3...5 лет, что требует искусственного орошения. Годы с достаточным обеспечением осадков для развития всех культур повторяются не чаще двух раз в десятилетие.

Как отмечают Н.Н. Иванова и др. [8], очень часто в сельскохозяйственное производство вовлекают только аллювиальные почвы центральной части поймы рек, а почвы притеррасной и прирусловой остаются под естественной растительностью и никак не используются. В связи с ценностью аллювиальных почв встает вопрос о расширении их применения для выращивания сельскохозяйственных культур. Поэтому необходимо проводить дополнительные обследования, в том числе и агрохимических свойств.

Заключение. Таким образом, почвы, расположенные в пойме реки Белый Июс обладают высоким содержанием запасов органического вещества в корнеобитаемом слое. Степень насыщенности почв основаниями достаточно высокая. Содержание подвижного фосфора и обменного калия колеблется от средней до очень низкой по слоям почвы. Наши исследования согласуются с данными [12], что такие показатели агрохимического состава типичны для речной поймы, которые выделяются большим разнообразием в структуре верхних горизонтов, гранулометрическим составом на разной глубине, что связано с динамичностью гидрологического режима речных почв и постоянно меняющимися эрозионными и аккумулятивными процессами. Эти почвы отличаются сложной структурой в связи с особенностями формирования и деятельностью реки. В целом почвообразовательный процесс идет зонально с образованием региональных пойменных почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 259 с.
2. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
3. Бадмаева С.Э. Оптимизация агроландшафтов по показателям тепло- влагообеспеченности // Наука и образование: материалы Межд. научно-практ. конф. Красноярск, 2020. С. 3–5.
4. Бадмаева С.Э. Регулирование водного режима аллювиальных тофянисто-глеявых почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 5. С. 13–17.
5. Бадмаева Ю.В. Мелиоративные мероприятия по оптимизации свойств агроландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 20–24.
6. Вильямс В.Р. Почвоведение. М.: Наука, 1949. 272 с.
7. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 295 с.
8. Агрохимические свойства аллювиальных почв поймы реки Инсар / Н.Н. Иванова, В.И. Каргин, А.Н. Данилов, А.В. Летучий // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 8–12.
9. Ковда В.А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Т. 1, 2. 460 с.
10. Нефедов А.В., Ильинский А.В., Морозов А.Е. Изменение свойств осушенных торфяно-подзолисто-глеявых почв при длительном использовании // Земледелие. 2018. № 2. С. 23–35.
11. Польшов Б.Б. Избранные труды. М.: Наука, 1956. 752 с.
12. Свиридова И.К., Удодова Е.Ф. Строение и свойства лесных почв правобережной поймы р. Хопра в пределах Хопёрского заповедника // Дубравы Хопёрского заповедника. Ч. 1. Условия местопроизрастания насаждений. Воронеж: ВГУ, 1976. С. 56–77.

REFERENCES

1. Agrophysical methods of soil research. Moscow: Nauka Publ., 1966, 259 p.
2. Agrochemical methods of soil research. Moscow: Nauka, 1975. 656 p.
3. Badmaeva S.E. Optimization of agrolandscapes in terms of heat and moisture availability // Science and education. Checkmate. International Scientific and Practical Conference Krasnoyarsk, 2020. Pp. 3–5.
4. Badmaeva S.E. Regulation of the water regime of alluvial peat-gley soils // Melioration and water management. 2025. No. 5. Pp. 13–17.
5. Badmaeva Yu.V. Land reclamation measures to optimize the properties of agricultural landscapes // Land reclamation and water management. 2023. No. 3. Pp. 20–24.
6. Williams V.R. Soil science. Moscow: Nauka, 1949. 272 p.
7. Dobrovolsky G.V. Soils of river floodplains. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1968. 295 p.
8. Agrochemical properties of alluvial soils of the floodplain of the Insar River / N.N. Ivanova, V.I. Kargin, A.N. Danilov, A.V. Letuchy // Agrarian Scientific journal 2019. № 11. Pp. 8–12.
9. Kovda V.A. Fundamentals of the doctrine of soils. Moscow: Nauka Publ., 1973, vol. 1, 2, 460 p.
10. Nefedov A.V., Ilyinsky A.V., Morozov A.E. Changes in the properties of drained peat-podzolic-gley soils with prolonged use // Agriculture. 2018. No. 2. Pp. 23–35.
11. Polynov B.B. Selected works. Moscow: Nauka, 1956. 752 p.
12. Sviridova I.K., Udodova E.F. Structure and properties of forest soils of the right-bank floodplain of the Khopra River within the Khopersky reserve // Oak forests of the Khopersky reserve. Part 1. Conditions of the vegetation habitat. Voronezh: VSU, 1976. Pp. 56–77.

Бадмаева Софья Эрдыниевна, доктор биол. наук, профессор, зав. кафедрой кадастра застроенных территорий и геоинформационные технологии, s.bad55@mail.ru Института землеустройства, кадастров и природообустройства (Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия).

ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОЙ ПАСТБИЩ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.К. АБДРАЗАКОВ, Т.М. ШАДЬЯРОВ, М.К. ОНАЕВ

Ключевые слова: Западно-Казахстанская область, отгонное животноводство, обводнение, искусственный водоисточник, бассейн-прудокопань

Keywords: West Kazakhstan Region, transhumance, irrigation, artificial water source, basin-pond digging

Аннотация. Цель: создание запасов пресной воды в пунктах отгонного животноводства за счет сооружения искусственного водоисточника по сбору талой и дождевой воды с опреснением минерализованной воды из подземных водоисточников. Методы: проведен мониторинг пунктов отгонного животноводства по определению глубины и диаметра колодца, статистического и динамического уровня воды, диаметра обсадной колонны скважины, дебита колодца и скважины, а также в лабораторных условиях определили уровень минерализации воды из подземных водоисточников. Результаты: разработан альтернативный способ обводнения пастбищ в пунктах отгонного животноводства с сооружением искусственного водоисточника по сбору и опреснению минерализованной воды из подземных водоисточников. Выводы: положительный эффект от применения данного способа заключается в том, что в течение круглого года осуществляется естественный сбор воды в пункте отгонного животноводства, что на 90% снижаются затраты по подъему и доставке воды из различных водоисточников.

Abstract. Objective: to create fresh water reserves at livestock breeding stations by constructing an artificial water source for collecting meltwater and rainwater and desalinating mineralized water from underground water sources. Methods: Monitoring of transhumance livestock farming sites was carried out to determine the depth and diameter of wells, statistical and dynamic water levels, the diameter of well casings, and the flow rate of wells and boreholes. The level of mineralization of water from underground water sources was also determined in laboratory conditions. Results: An alternative method of watering pastures at transhumance livestock farming sites was developed, involving the construction of an artificial water source for collecting and desalinating mineralized water from underground water sources. Conclusions: The positive effect of using this method is that natural water collection is carried out throughout the year at the transhumance livestock farming site, which reduces human costs for lifting and delivering water from various water sources by 90%.

Введение. На сегодняшний день со стороны государства уделяется большое внимание развитию животноводства, а именно отгонно-пастбищному содержанию домашних сельскохозяйственных животных [1]. Данная система отгонного животноводства позволит использовать естественные пастбищные угодия, перегоняя животных с одних пастбищ на другие. Наличие значительных площадей пастбищных угодий с высокопродуктивной растительной массой требует обеспечение пастбищ питьевой водой, т. е. обводнение пастбищ естественными и искусственными водоисточниками. Продуктивность и здоровье животных зависят не только от уровня кормления, но и от хорошей организации снабжения животных доброкачественной водой на пастбищах. Организм животного находится в состоянии постоянного обмена веществ с окружающей внешней средой, в котором непременно участвует вода.

Своевременное и в достаточных количествах потребление животными воды в сочетании с рациональным и полноценным кормлением способствует достижению их высокой продуктивности. Научными исследованиями установлено, что на 1 кг сухого вещества корма животные потребляют следующее количество воды: лошади — 3...5 л; верблюды — 5...7 л; крупный рогатый скот — 4...6 л; овцы и козы — 2...3 л.

Земельный фонд Западно-Казахстанской области занимает 15,1 млн га, которые позволяют эффективно развивать отгонное животноводство. Большая часть земельного фонда 13 млн га (86%) представлена сельскохозяйственными угодиями, из которых преобладающими являются естественные пастбища — 11,5 млн га (76,2%) территорий области. По официальным статистическим данным Комитета по статистике Республики Казахстан и региональным отчетам управления сельского хозяйства ЗКО, численность крестьянских (фермерских) хозяйств в 2018 г. составляло 6400 ед., в 2019 г. — 6850 ед., в 2020 г. — 7200 ед. Динамика роста крестьянских (фермерских) хозяйств за три года составила 12%.

Находящиеся в полупустынной зоне Жанибекский, Казталовский, Акжайкский и Сырымский районы являются одними из крупных животноводческих районов Западно-Казахстанской области. Площади пастбищных угодий Жанибекского района составляет 1,25 млн га, Казталовского района — 1,55 млн га, Акжайкского района — 1,35 млн га и Сырымского района — 980 тыс. га соответственно. По данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан в Жанибекском районе Западно-Казахстанской области на 1 сентября 2018 г. насчитывалось 30,2 тыс. голов КРС, 15,8 тыс. голов лошадей, 89 тыс. голов овец и коз и 2,3 тыс. голов верблюдов, в Казталовском районе насчитывалось 52 тыс. голов КРС, 27,5 тыс. голов лошадей, 162 тыс. голов овец и коз и 1,6 тыс. голов верблюдов, в Акжайкском районе насчитывалось 60,5 тыс. голов КРС, 33,5 тыс. голов лошадей, 172 тыс. голов овец и коз и 1,9 тыс. голов верблюдов, в Сырымском районе насчитывалось 41 тыс. голов КРС, 19,5 тыс. голов лошадей, 128 тыс. голов овец и коз и 900 голов верблюдов.

Рельеф территории четырех районов области в основном равнинный. По территориям вышеперечисленных районов протекают реки Урал, Анкаты, Оленты, Булдырты, Большой и Малый Узень, Ащыозек, Караозен, много лиманов. Находятся крупные озера: Шалкар, Камыстое, Жарколь, Сарыколь, Мерекеколь, Караколь, Сарышыганак, Балыкты Сакрыл. Имеется обводнительно-оросительная система общей протяженностью 648 км, подающая волжскую воду в Жанибекском районе и обводнительно-оросительная система Урало-Кушумский канал в Акжайкском районе. Климат резко континентальный. Средние температуры января от —14 до —25 °С, июля +23...+35 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков 200...400 мм. Почвы солонцовые, темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые, луговые, лессовидные суглинки и тяжелые суглинки бурого цвета, под которыми залегают третичные соленосные глины. Растительность в основном степная и полупустынная, южную часть района занимает песчаная пустыня. Растут ковыльно-разнотравные и пы-

рейно-разнотравные ассоциации с примесью полыни, типчак, житняк, вдоль рек — заливные луга, сенокосы, камышовые заросли, луговое разнотравье.

Климатические ресурсы являются одним из основных природных факторов, определяющие условие развития сельского хозяйства. Развитие сельского хозяйства требует рационального размещения его отраслей по территории, на основе тщательного учета агроклиматических ресурсов и рельефа местности. Учет агроклиматических условий позволяет определить соответствие климата конкретной территории требованиям сельскохозяйственной отрасли [2].

В настоящее время все чаще и чаще привлекается внимание к тревожной обстановке в сфере водно-экологических проблем, прогнозируется водно-экологический коллапс, резкое ухудшение качества пресной воды и уменьшение ее запасов в природных коллекторах и связанное с этим нарастание кризиса в решении продовольственных программ многих государств [3].

Главной водной артерией Западно-Казахстанской области является река Урал. В 2019 г. зафиксирован рекордно низкий уровень воды в реке Урал. Несмотря на обилие снежных осадков в 2020 г. в Западно-Казахстанской области — на 100...150 % выше нормы, уровень воды в реках так и не поднялся. Вся влага ушла в землю, не успев попасть в реку, поскольку и в почве наблюдается двукратное снижение влажности.

По данным Комитета водных ресурсов Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, запасы пресных вод Казахстана составляют 444 км³. Из них 58 км³ сосредоточено в подземных водах, 190 км³ — в озерах, 95,5 км³ — в водохранилищах, 100,5 км³ — в реках [4].

Дефицитом водных ресурсов в пунктах отгонного животноводства является отсутствие достаточных запасов воды для удовлетворения потребностей скота в питьевой воде. Нехватка пресной питьевой воды с прошлого века рассматривается как глобальная проблема современности [5]. С увеличением поголовья домашних животных в крестьянских хозяйствах возрастает потребность в питьевой воде в пунктах отгонного животноводства в летний период.

Основными причинами дефицита питьевой воды связаны с результатами изменения климата, с деятельностью человека, приводящей к сокращению водных ресурсов из-за загрязнения пресноводных экосистем, а также с последствиями изменений в землепользовании [6, 7].

Проблемы повышения эффективности освоения подземных вод актуальны во все времена. Поэтому нужны принципиально качественные решения проблем, базирующихся на использовании гидродинамических характеристик водоносных пластов, применении физических эффектов и достижении в области прокладки скважин [8].

В статье использованы материалы, полученные при реализации научно-исследовательских работ в области агропромышленного комплекса Министерством сельского хозяйства РК в рамках реализации научно-технической программы BR06249365 «Создание высокопродуктивных пастбищных угодий в условиях Северного и Западного Казахстана и их рациональное использова-

ние» по мероприятию «Разработать научно обоснованные решения по оптимальным условиям организации обводнения пастбищ Западно-Казахстанской области».

Цель исследования. Создание запасов пресной воды в пунктах отгонного животноводства за счет сооружения искусственного водоисточника по сбору и опреснению воды, при значительном уменьшении непродуцированных потерь и улучшении санитарно-эпидемиологического состояния источников обводнения.

Материалы и методы. В целях решения поставленных задач проведены: сбор информации о водных ресурсах Жанибекского, Казталовского, Акжайкского и Сырымского районов Западно-Казахстанской области; химические анализы проб воды из подземных водоисточников по определению ее качественных и количественных показателей; анализ и оценка современного состояния инфраструктуры обводненных пастбищ.

При проведении мониторинга водоисточников в пунктах отгонного животноводства определялись следующие параметры источника: глубина колодца, статистический и динамический уровень воды, диаметр обсадной колонны скважины, дебит колодца (скважины), электрообеспечение, техническое состояние водопойного пункта, обеспеченность поильными площадками, забивали координаты местоположения пункта отгонного животноводства, а также в лабораторных условиях определяли уровень минерализации воды.

Результаты и обсуждение. В период с 2018 по 2020 г. проведен мониторинг источников обводнения полупустынной зоны, а именно места дислокации пунктов отгонного животноводства в Жанибекском, Казталовском, Акжайкском и Сырымском районах. При обследовании территории четырех районов области источниками водопоя скота являлись поверхностные воды — это реки, озера, бассейны-прудокопаны, искусственные каналы прилегающих к зонам оросительно-обводнительной системы Волжский в Жанибекском, Фурмановский в Казталовском и Кушумский в Акжайкском районах, а также подземные воды — это колодцы и скважины.

Наиболее доступным и не затратным видом водообеспечения в отгонном животноводстве являются наземные водоисточники, но наиболее перспективным и экологически чистыми являются подземные водоисточники.

В ходе проведенного мониторинга обследовано 199 колодцев и 186 скважин полупустынной зоны (табл. 1). В учет не включены источники воды, расположенные на территории населенных пунктов предназначенные для обслуживания сельского населения питьевой водой, а также открытые источники обводнения в виде рек, озер, прудов и каналов.

Из числа обследованных подземных водоисточников полупустынной зоны в пунктах отгонного животноводства 199 (52 %) составляют шахтные колодцы, 186 (48 %) составляют скважины.

Обобщенные сведения о количестве и технических параметрах колодцев и скважин, функционирующих на пастбищных территориях Жанибекского, Казталовского, Акжайкского и Сырымского районов Западно-Казахстанской области, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Сводные сведения по колодцам и скважинам полупустынной зоны Западно-Казахстанской области

Источник	Количество шт.	Глубина, м	Размеры, мм	Дебит, дм ³ /с	Минерализация, г/дм ³
Колодцы	199	3,8...21,6	1000...2000	0,01...1,8	0,16...11,8
Скважины	186	10...93	40...125	0,2...3,5	0,3...41,3

По результатам проведенного мониторинга подземных водоисточников полупустынной зоны, которые представлены в табл. 2, и проведенного анализа видно, что наибольшее количество подземных водоисточников находится в Казталовском районе 42 %, в Акжайкском районе – 28 %, в Жанибекском районе – 20 % и Сырымском районе – 10 % соответственно.

Таким образом, большая часть колодцев и скважин сосредоточены на территориях районов, чьи хозяйства находятся на значительном расстоянии от естественных и искусственных наземных водоисточников.

При группировке колодцев по глубине, использовали интервал с шагом в 5, 10 м, а при анализе скважин, исходя из уровня их глубины, мы отталкивались от применяемой на практике группировки с шагом в 50, 100 м.

Следует отметить, что из 199 обследованных колодцев четырех районов области, преобладают колодцы глубиной до 10 м, доля которых составляет 83 % в общей структуре колодцев. Глубина скважин четырех районов области, находящихся в полупустынной зоне в среднем не превышает 50 м, что составляет 67 % от общего количества обследованных скважин.

Дальнейший анализ источников обводнения осуществлялся в разрезе следующих двух основных параметров: дебит и минерализация водоисточника. При анализе водообеспеченности пастбищных угодий четырех районов области находящихся в полупустынной зоне важно знать производительность колодцев и скважин (дебит водоисточника). Дебит подземных водоисточников:

$$D = \frac{HV}{(H_d - H_{ст})},$$

где D – дебит подземного водоисточника, м³/ч; H – глубина подземного водоисточника, м; V – производительность насоса, м³/ч; H_d , $H_{ст}$ – динамический и статический уровни, м.

Таблица 2

Технические параметры колодцев и скважин

Район	Количество, шт.	Глубина, м	Размеры, м
Колодцы			
Жанибекский	23	5,0...15,5	1,0...1,6
Казталовский	79	4,0...21,6	1,0...2,0
Акжайкский	75	3,9...13,5	1,0...2,0
Сырымский	22	3,8...9,9	1,2...1,5
Скважины			
Жанибекский	55	15...80	0,1...0,125
Казталовский	83	20...93	0,1...0,125
Акжайкский	32	10...38	0,04...0,125
Сырымский	16	20,5...60	0,04...0,125

Используя формулу, определили наполняемость подземных водоисточников в разрезе четырех районов Западно-Казахстанской области, полученные данные по колодцам и скважинам представлены в табл. 3.

Обобщенные сведения о характеристиках подземных водоисточников, функционирующих на пастбищных территориях, позволяет осуществить анализ качественных особенностей источников обводнения. Отбор проб осуществлялся по ГОСТ 31861–2012 «Вода. Общие требования к отбору проб»; ГОСТ 31957–2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; содержание хлоридов по ГОСТ 4245–72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов»; СТ РК 1015–2000 «Вода. Гравиметрический метод определения содержания сульфатов в природных, сточных водах»; определения азота аммонийного, нитритов, нитратов по ГОСТ 33045–2014 «Вода. Методы определения азотсодержащих веществ»; определение общей жесткости, кальция и магния согласно ГОСТ 26449.1–85 «Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод»; содержание сухого остатка по ГОСТ 18164–72 «Метод определения содержания сухого остатка»; органическое вещество по ГОСТ 23268.12–78 «Метод определения перманганатной окисляемости» [9].

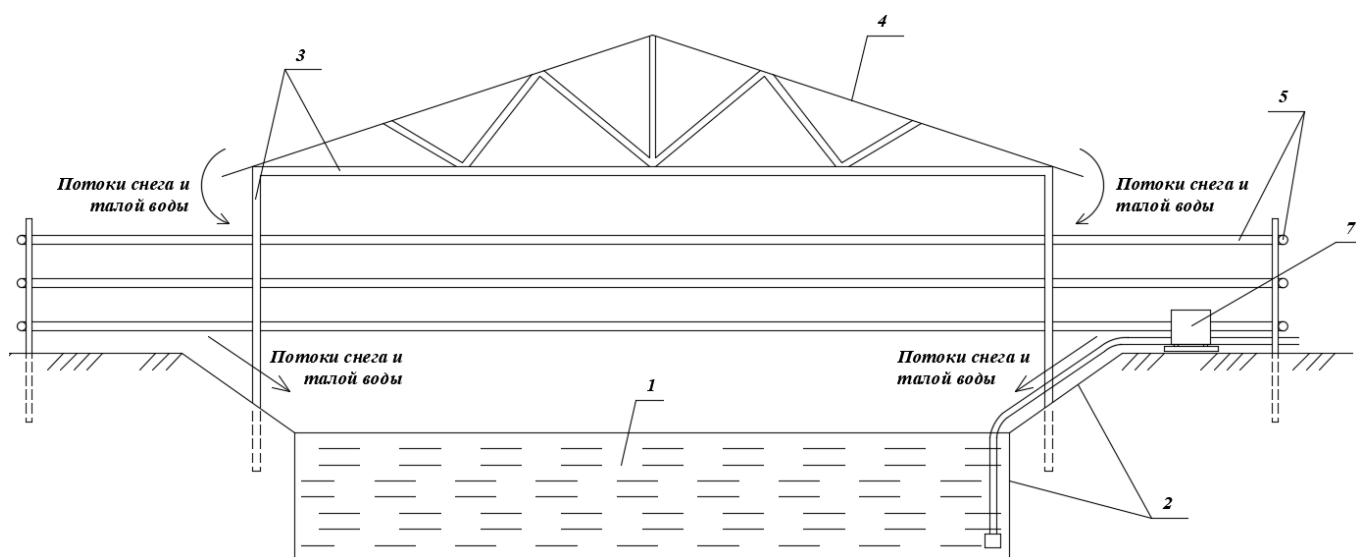
Наибольший удельный вес в структуре колодцев занимают колодцы с дебитом до 0,2 м³/с, их доля составляет 79 % из всех колодцев, причем самая большая их часть находится в Казталовском и Акжайкском районах. Из произведенной группировки по дебиту колодцев можно сделать вывод, что в четырех обследованных районах, на территории которых размещены колодцы, имеют разный показатель дебита.

Что касается скважин по наполняемости до статического уровня с дебитом до 1 м³/с составляет 26 % от общего количества. Наибольшее количество скважин с производительностью в 1...2 м³/с сосредоточены в четырех районах области с общим удельным весом 59 % и лишь 15 % из всех скважин имеют дебит свыше 2 м³/с. Из этого следует, что все обследованные скважины, имеют разный показатель дебита.

Таблица 3

Дебит и минерализация подземных водоисточников

Район	Количество, шт.	Дебит, дм ³ /с	Минерализация, г/дм ³
Колодцы			
Жанибекский	23	0,01...1,58	0,4...3,7
Казталовский	79	0,14...1,8	0,3...10,5
Акжайкский	75	0,04...1,0	0,16...11,8
Сырымский	22	0,16...0,94	0,2...9,8
Скважины			
Жанибекский	55	0,3...3,0	0,8...13,9
Казталовский	83	0,4...3,0	0,4...41,3
Акжайкский	32	0,23...2,4	0,6...9,3
Сырымский	16	0,2...3,5	0,3...7,1



Сооружение искусственного водоисточника для сбора талой и дождевой воды на пастбищах отгонного животноводства:

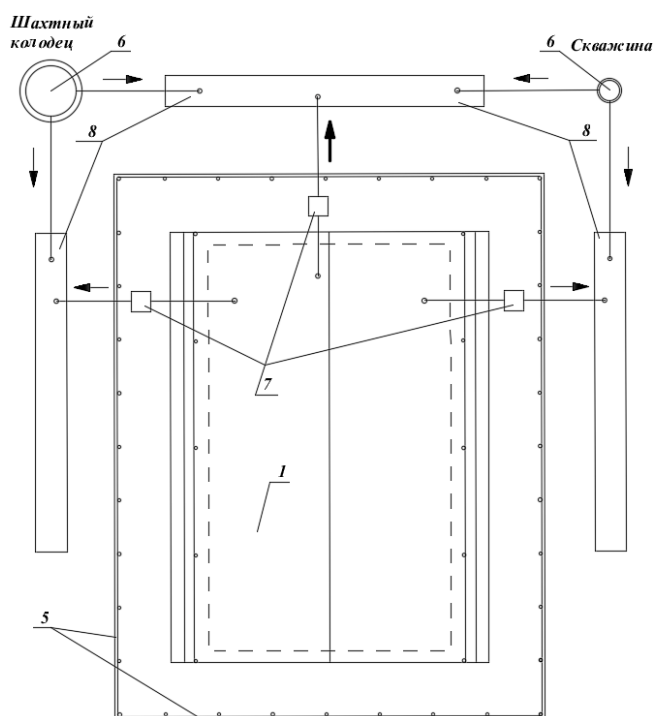
1 – бассейн; 2 – декоративная ПВХ или бутилкаучуковая пленка; 3 – опорно-металлическая конструкция; 4 – навес; 5 – металлическое ограждение; 6 – подземный водоисточник (колодезь, скважина); 7 – электрический насос или бензиновая мотопомпа; 8 – поильное корыто

Гидрохимический анализ подземных вод четырех районов Западно-Казахстанской области показал, что уровень минерализации полупустынной зоны показал, что 35 % водоисточников – пресные, 54 % – солоноватые, 11 % – соленые. Исходя из научных заключений, солоноватые водоисточники нуждаются в фильтрации и опреснении, а соленые водоисточники нуждаются в глубоком опреснении.

Обеспечение водой крестьянских хозяйств, занимающихся отгонным разведением сельскохозяйственных животных, была и остается самой важной проблемой [10]. Высокие показатели минерализации подземных вод существующих источников водообеспечения в пунктах отгонного животноводства, является основным негативным фактором, влияющим на возможности расширения и увеличения поголовья сельскохозяйственных животных. Несмотря на все прилагаемые усилия со стороны государства, опреснение подземных водоисточников с высокой минерализацией в пунктах отгонного животноводства для руководителей крестьянских хозяйств, на сегодняшний день остается дорогостоящим оборудованием [11]. Поэтому необходимо рассмотреть альтернативные способы обводнения пастбищ отгонного животноводства.

Целью альтернативного способа обводнения пастбищ отгонного животноводства являлось создание запасов пресной воды в пунктах отгонного животноводства за счет сооружения искусственного водоисточника по сбору и опреснению воды, при значительном уменьшении непроизводительных потерь и улучшении санитарно-эпидемиологического состояния источников обводнения.

Задачей исследования, на которое направлено техническое решение, является создание искусственного водоисточника по сбору талых вод в весенний период, а также при выпадении осадков в виде дождя весной,



летом и осенью, обеспечение запасов воды для поения скота в летне-осенний сезон с низкодебитными и солеными водоисточниками (рисунки).

По результатам научных исследований в период с 2018 по 2020 г. разработан способ обводнения пастбищ искусственным водоисточником, новизна технического решения подтверждена патентом Республики Казахстан на полезную модель № 5201 [12].

В соответствии с полученным охранным документом на объект интеллектуальной собственности для обустройства пункта отгонного животноводства искусственным водоисточником (бассейн-прудокопань), необходимо учитывать рельеф местности, т. е. нужно выбрать участок в самом пониженном месте, с тем чтобы обеспечить наибольший сток воды в нее. Далее, нужно выкопать в земле углубление. Размеры бассейна определяются исходя из необходимого объема воды потребного в весенне-о-

сенний период для скота находящегося в пункте отгонного животноводства. На дно и стенки бассейна (прудокопань) укладываем декоративную ПВХ или бутилкаучковую пленку, которая будет предотвращать впитывание воды в грунт. Над бассейном (прудокопань) устанавливаем опорно-металлическую конструкцию для навеса, которая будет предотвращать попадание солнечных лучей. Для предотвращения доступа скота к открытому искусственному водоисточнику по всему периметру на расстоянии 5 м необходимо установить прочное металлическое ограждение. Подземный водоисточник (колодец, скважина), необходимо разместить рядом с искусственно созданным водоисточником. После проведения гидрохимического анализа подземных водоисточников и определения концентрации соли в воде, можно будет снижать концентрацию соленой воды в подземных водоисточниках до допустимой нормы. Для этого, подаваемая соленая вода из подземного водоисточника (колодец, скважина) и пресная вода из искусственного водоисточника с помощью электрического насоса или бензиновой мотопомпы будет смешиваться в поильных корытах.

Выводы. Сбор воды будет осуществляться при обильном таянии снега в весеннее время года, а также при выпадении осадков в виде дождя весной, летом и осенью. Растаявший снег и выпавшие осадки в виде дождя, будут накапливаться в предлагаемом нами сооружении искусственном водоисточнике.

Положительный эффект от применения данного способа заключается в том, что в течение круглого года осуществляется естественный сбор воды в пункте отгонного животноводства. Это на 90 % снижаются затраты по подъему и доставке воды из различных водоисточников. Использование навеса снижает повышение температуры воды в жаркое время года, тем самым, исключая цветение воды, которое может послужить возбудителем различных инфекций и болезней животных.

Таким образом, предлагаемое сооружение искусственного водоисточника позволит увеличить запасы воды в пунктах отгонного животноводства с низкодебитными и сильно минерализованными (соленые) подземными водоисточниками, снизит затраты на приобретение дорогостоящего оборудования по опреснению воды и уменьшит расход природных ресурсов, а именно подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Агробизнес 2020», 2013. URL: <https://zakon.uchet.kz/rus/history/P1300000151/29.10.2015>
2. Байшоланова С.С. Агроклиматические ресурсы Западно-Казахстанской области: научно-прикладной справочник // Под ред. С.С. Байшоланова. Астана, 2017. 128 с.
3. Шестаков Ф.В. Грядущая глобальная водно-экологическая катастрофа и меры ее профилактики // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. Алматы, 2015. № 2. С. 122–128.
4. В Казахстане могут появиться проблемы с обеспечением водой. URL: <https://kursiv.kz/news/obschestvo/2019-10/v-kazakhstanemogut-poyavitsya-problemy-s-obespecheniem-vodoy>
5. Медеу А.Р. Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы и решения // Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Алматы, 2012. С. 151.
6. Мухамеджанов М.А., Макызжанова А.Т., Кулагин В.В. Обоснование и определение перспективных объектов по использованию подземных вод для орошения земель, кормопроизводству и обводнению пастбищ Казахстана // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Алматы, 2017. № 3. С. 72–81.

7. Кереев М.М., Гумаров Г.С. Оптимальные системы обводнения пастбищных угодий // Сборник научных работ «Вопросы зоотехнии, механизации и педагогики». Уральск, 1999. Ч. 3. С. 270–274.
8. Мендыбаев Т.Н., Смашов Н.Ж. Методы и средства освоения месторождений подземных вод принудительным самоизливом // Новости науки Казахстана. 2014. № 1(119). С. 115–122.
9. Обводнение пастбищ – залог развития отгонного животноводства / М.К. Онаев, С.Е. Денизбаев, Г.С. Ожанов, Т.М. Шадьяров // Наука и образование ЗКАТУ им. Жангир хана. 2020. № 4-2 (61). С. 111–118.
10. Муханова Г.К. Обводнение пастбищ в Казахстане: сложности и новые пути // М-лы Межд. н.-п. конф. Т. IV: Новая стратегия научно-образовательных приоритетов в контексте развития АПК. Алматы: КазНАУ, 2016. С. 150–153.
11. Организация обводнения пастбищ в аридной зоне (на примере Западно-Казахстанской области): Рекомендации / М.К. Онаев, Т.Н. Хусаинов, Т.М. Шадьяров, Г.С. Ожанов, С.Е. Денизбаев. Уральск: Зап.-Казахст. аграр.-техн. ун.-т им. Жангир хана, 2020. 21 с.
12. Онаев М.К., Шадьяров Т.М., Ожанов Г.С., Денизбаев С.Е. Способ обводнения пастбищ искусственным водоисточником // Патент Республики Казахстан на полезную модель № 5201. заявитель и патентообладатель Зап. Каз. агр. тех. ун.-т им. Жангир хана. заявл. № 2020/0250.2. опубли. в бюлл. № 29 от 24.07.2020.

REFERENCES

1. State program «Agribusiness 2020», 2013.
2. Baisholanova S.S. Agroclimatic Resources of the West Kazakhstan Region: Scientific and Applied Handbook // Edited by S.S. Baisholanova. Astana, 2017. 128 p.
3. Shestakov F.V. The upcoming global water and environmental disaster and measures to prevent it // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Almaty, 2015. № 2. Pp. 122–128.
4. <https://kursiv.kz/news/obschestvo/2019-10/v-kazakhstanemogut-poyavitsya-problemy-s-obespecheniem-vodoy>
5. Medeu A.R. Malkovsky I.M., Toleubayeva L.S. Water Security of the Republic of Kazakhstan: Problems and Solutions // Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference. Almaty, 2012. 151 p.
6. Mukhamedzhanov M.A., Makyzhanova A.T., Kulagin V.V. Justification and determination of perspective objects on the use of groundwater for land irrigation, fodder production and watering of pastures of Kazakhstan // Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2017. № 3. P. 72–81.
7. Kereev M.M., Gumarov G.S. Optimal systems of watering pasture lands // Collection of scientific papers. Issues of animal husbandry, mechanization, and pedagogy. Uralsk, 1999. Part 3. Pp. 270–274.
8. Mendybaev T.N., Smashov N.Zh. Methods and Means of Developing Underground Water Deposits by Forced Self-Flow // News of Science of Kazakhstan. 2014. № 1 (119). Pp. 115–122.
9. Ongayev M.K., Denizbaev S.E., Ozhanov G.S., Shadyarov T.M. Watering of pastures is the key to the development of transhumance // Science and Education of WKAU named after Zhanqir Khan. 2020. № 4-2 (61). Pp. 111–118.
10. Mukhanova G.K. Irrigation of Pastures in Kazakhstan: Difficulties and New Ways // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vol. IV: New Strategy of Scientific and Educational Priorities in the Context of Agricultural Development. Almaty: KazNAU, 2016. Pp. 150–153.
11. Ongayev M.K., Khusainov T.N., Shadyarov T.M., Ozhanov G.S., Denizbaev S.E. Organization of irrigation of pastures in the arid zone (on the example of the West Kazakhstan region): Recommendations. Uralsk: Zapad.-Kazakh. Agrarian and Technical University named after Zhanqir Khan, 2020. 21 p.
12. Ongayev M.K., Shadyarov T.M., Ozhanov G.S., Denizbayev S.E. Method of irrigating pastures with an artificial water source // Patent of the Republic of Kazakhstan for a utility model No. 5201. applicant and patent holder of the West Kazakhstan Agrarian Technical University named after Zhanqir Khan. Application No. 2020/0250.2. Bulletin № 29 dated 24 July 2020.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, abdrzakov.fk@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3247-5257; **Шадьяров Талап Мназатович**, соискатель, магистр техн. наук, talap_mnazhatovich@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6541-9695 (Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия); **Онаев Марат Кайрлыулы**, канд. техн. наук, профессор, maratongatv@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5584-1948 (Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Респ. Казахстан).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С.М. БУРЯК, А.Е. БЕДЕНКО, Д.С. МИРОНОВ

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мелиорируемые земли, вегетационный индекс NDVI, мелиорация

Keywords: remote sensing, reclaimed lands, vegetation index NDVI, land reclamation

Аннотация. В статье представлены результаты оценки эффективности использования мелиорируемых земель на основе анализа мультиспектральных спутниковых снимков Landsat 8/9. Исследование проводилось на посадках картофеля в течение вегетационного периода 2025 г. с использованием методов дистанционного зондирования и геоинформационного анализа. Методика работы включала расчет вегетационного индекса NDVI для серии разновременных снимков, статистический анализ пространственного распределения значений индекса с использованием инструментов зональной статистики, а также визуальную интерпретацию полученных данных. Результаты показали критически низкие значения вегетационной активности (медианные значения NDVI 0,39...0,52) в период максимального развития культуры, что существенно ниже референсных показателей для картофеля при оптимальном увлажнении. Анализ динамики NDVI выявил отсутствие характерных скачков вегетационной активности, свидетельствующих о проведении поливных мероприятий. Сделан вывод о неиспользовании или неэффективном использовании мелиоративной системы и фактическом переходе к богарному типу земледелия на исследуемых территориях. Предложенная методика может быть применена для оперативного мониторинга использования мелиорируемых земель и оценки эффективности работы мелиоративных систем.

Abstract. The article presents the results of assessing the efficiency of land reclamation based on the analysis of multispectral satellite images of Landsat 8/9. The study was conducted on potato crops during the growing season of 2025 using remote sensing and geoinformation analysis methods. The methodology included the calculation of the NDVI vegetation index for a series of time-varying images, statistical analysis of the spatial distribution of index values using zonal statistics tools, as well as visual interpretation of the data obtained. The results showed critically low values of vegetative activity (median NDVI values 0.39–0.52) during the period of maximum crop development, which is significantly lower than the reference values for potatoes with optimal moisture. Analysis of the NDVI dynamics revealed the absence of characteristic spikes in vegetation activity, indicating the implementation of irrigation measures. The conclusion is made about the non-use or inefficient use of the land reclamation system and the actual transition to a rain-fed type of agriculture in the studied territories. The proposed methodology can be applied for operational monitoring of the use of reclaimed lands and assessment of the effectiveness of reclamation systems.

Введение. Рациональное использование мелиорируемых земель является стратегической задачей обеспечения продовольственной безопасности, особенно в регионах с неустойчивым увлажнением [1, 2]. Значительные бюджетные средства инвестируются в создание и восстановление мелиоративных систем, однако их фактическое использование и эффективность часто остаются не оцененными. Традиционные методы мониторинга, основанные на отчетности хозяйств и выборочных обследованиях, не обеспечивают объективной и пространственно-полной оценки реальной агротехнической практики на полях [3].

В этом контексте технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) выступают как независимый и объективный инструмент контроля. Спутниковые данные позволяют не только оценить состояние посевов, но и ретроспективно проанализировать агрономические мероприятия, в частности, факт проведения поливов [4, 5].

Обзор исследований. Широко известно, что вегетационные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), являются надежным индикатором фотосинтетической активности и биомассы сельскохозяйственных культур [6, 7]. Для влаголюбивых культур, таких как картофель, в условиях недостаточного естественного увлажнения существует четкая зависимость между значениями NDVI в критические фазы развития и обеспеченностью влагой. Для картофеля в фазе максимального развития (июль – начало августа) значения NDVI на хорошо обеспеченных влагой участках должны быть 0,6...0,8 [8, 9]. Значения ниже этого порога, особенно в сочетании с резким спадом в засушливые периоды, однозначно свидетельствуют о влагострессовом состоянии посевов.

Таким образом, основной проблемой является отсутствие оперативных и объективных методов для верификации факта использования существующей мелиоративной инфраструктуры по назначению. Мы выдвинули гипотезу, что анализ динамики и абсолютных значений вегетационных индексов за вегетационный сезон позволяет с высокой долей достоверности установить факт отсутствия полива на мелиорируемых землях, даже при отсутствии прямых данных о режиме орошения.

Целью данной работы является оценка фактического состояния посадок картофеля и выявление признаков неиспользования мелиоративной системы на основе анализа временных серий спутниковых снимков Landsat.

Для достижения цели поставлены задачи:

- рассчитать временной ряд вегетационного индекса NDVI для исследуемых мелиорируемых полей, занятых картофелем, за период с мая по август;
- провести анализ динамики NDVI, выявив критические периоды спада вегетационной активности;
- оценить абсолютные значения NDVI в период максимального развития культуры (июль) и сопоставить их с известными референсными значениями для картофеля при оптимальном увлажнении;
- на основании низких максимальных значений NDVI и характера динамики сделать вывод о влагострессовом состоянии посевов и вероятном факте неиспользования мелиоративной системы.

Описание территории исследования и почвенно-климатические условия. В качестве объекта для исследования выбран мелиорируемый земельный участок категории земель: земли сельскохозяйственного назначения, расположен на правобережной пойме р. Москвы, вблизи поселка Радужный, городского округа Коломна Московской области. Местность представляет собой юго-западную окраину Мещерской низменности, рельеф участка плоский с небольшими уклонами 0,001...0,005.

На участке общей площадью 45,5 га в 2025 г. выращивали картофель сорта Удача на трех полях: 18,9 га (поле 1); 11,4 га (поле 2); 15,2 га (поле 3). Удача – сорт картофеля (*Solanum tuberosum* L.), раннеспелый, клубень овальный, кожура светло-бежевая, мякоть белая. Сорт включен в Госреестр по Центральному региону. Товарная урожайность 300...500 ц/га.

Почвы участка дерново-зернистые аллювиальные глееватые, почвообразующие и подстилающие породы аллювиальные отложения, в основном, средние суглинки, а также верхнечетвертичные аллювиальные отложения – легкие суглинки. Содержание гумуса в пахотном слое (0...20 см) – 2,5...4%. Уровень грунтовых вод в пределах от 2 до 12 м.

Анализ климатических условий вегетационного периода 2025 г. проведен на основании данных метеорологической станции № 27625, расположенной в г. Коломна Московской области (табл. 1).

Динамику условий увлажнения в различные периоды вегетации растений, можно проследить по коэффициенту увлажнения и показателям оценки влагообеспеченности территории – гидротермическому коэффициенту (ГТК) Г.Т. Селянинова. При ГТК=0,7 выделена зона сухого земледелия, при ГТК=1 установлен оптимальный баланс тепла и влаги для роста и развития сельскохозяйственных культур. Значения выше 1,6 уже свидетельствуют об избыточном количестве осадков.

За период вегетации картофеля май и сентябрь являлись критическими по ГТК, влагообеспеченность участка по количеству осадков меньше среднеемноголетних наблюдений на 34 и 63%, ГТК 0,7 и 0,4 соответственно. Летний период исследований превышал по количеству осадков среднее многолетние, ГТК = 1,6...1,7 свидетельствует об избыточном увлажнении.

Погодные условия в период наблюдений были не самыми благоприятными для роста и развития картофеля, фаза прорастания и начало фазы нарастания вегетационной массы пришлись на период дефицита осадков, что в большей степени отразилось на урожайности.

Методика исследования. В качестве исходных данных использовались многозональные спутниковые снимки Landsat 8/9, полученные с портала Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey) за вегетационный период (май–август) 2024 г. Критериями отбо-

ра снимков являлись: минимальная облачность (<10%) и покрытие всей территории исследования.

Обработка данных проводилась в геоинформационной системе QGIS (версия 3.28) с использованием инструментов Raster Calculator и Zonal Statistics.

Для каждого снимка рассчитывался нормализованный вегетационный индекс (NDVI) по алгоритму:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра (канал 5 для Landsat 8/9); RED – отражение в красной области спектра (канал 4 для Landsat 8/9).

Расчет выполнялся с помощью Raster Calculator с последующей визуализацией результатов в цветовой шкале от 0,2 до 0,8.

Для количественной оценки динамики состояния растительного покрова использовался инструмент Zonal Statistics. Для каждого из трех исследуемых полей и для каждой даты съемки рассчитывались следующие статистические показатели: среднее значение, медиана, стандартное отклонение, максимальное значение, минимальное значение, размах.

На основе полученных статистических данных построены графики временной динамики NDVI для каждого поля отдельно, отражающие:

- изменение медианных значений как индикатора общего состояния посевов;
- динамику максимальных значений как показателя потенциальной продуктивности;
- изменение минимальных значений для выявления стрессовых участков.

Изменения стандартного отклонения и размаха использовались для анализа пространственной неоднородности развития посевов.

Достоверность результатов обеспечивалась перекрестной проверкой расчетов для смежных дат съемки, визуальным анализом пространственного распределения значений NDVI, а также сопоставлением полученных значений с референсными данными для картофеля.

Полученные данные экспортированы в табличном формате для дальнейшего статистического анализа и визуализации.

Результаты и обсуждение. В результате обработки серии спутниковых снимков Landsat за вегетационный период 2025 г. получены временные ряды значений NDVI для трех исследуемых полей, занятых картофелем. Расчет статистических показателей (медиана, среднее арифметическое, стандартное отклонение, размах, максимум и минимум) позволил провести комплексный анализ состояния посевов (табл. 2).

На всех полях наблюдается схожая динамика вегетационных индексов (рис. 1).

Значения NDVI постепенно увеличивались с мая до середины июля, однако достигли критически низких максимальных значений. Пиковые значения медианы NDVI варьировали от 0,39 до 0,52 между полями, что существенно ниже извест-

Таблица 1

Агрометеорологические условия вегетационного периода

Сумма осадков, мм							
Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма
2025	49	33	84	115	87	19	387
Средняя многолетняя	36	50	69	70	65	52	342
Температура воздуха, °С							
Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2025	8,9	12,9	16,6	21,2	17,1	13	14,9
Средняя многолетняя	6,6	13,9	17,6	19,7	17,7	11,9	14,5
Гидротермический коэффициент (ГТК Селянинова)							
Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2025	–	0,7	1,6	1,7	1,6	0,4	1,2
Средний многолетний	–	1,2	1,5	1,4	1,4	1,7	1,5

Таблица 2

Статистические данные (выгрузка из Qgis)

№ поля	Статистические значения NDVI					Размах
	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум	
06.май						
1	0,0806	0,0758	0,0394	0,0365	0,2429	0,2064
2	0,1037	0,0960	0,0536	0,0413	0,2982	0,2570
3	0,1342	0,1390	0,0239	0,0724	0,2166	0,1442
23.май						
1	0,1244	0,1020	0,0513	0,0897	0,3549	0,2652
2	0,1387	0,1050	0,0670	0,0967	0,3647	0,2680
3	0,1609	0,1536	0,0281	0,1224	0,3006	0,1783
08.июн						
1	0,1532	0,1219	0,0665	0,1109	0,3906	0,2797
2	0,1816	0,1385	0,0774	0,1261	0,4355	0,3094
3	0,1373	0,1170	0,0468	0,1059	0,3556	0,2496
16.июн						
1	0,2578	0,2481	0,0375	0,2074	0,3949	0,1875
2	0,2546	0,2472	0,0359	0,1959	0,3552	0,1593
3	0,2051	0,1980	0,0202	0,1856	0,3105	0,1249
24.июн						
1	0,2579	0,2536	0,0739	0,1447	0,4289	0,2843
2	0,2840	0,2596	0,0625	0,1806	0,4323	0,2518
3	0,2633	0,2742	0,0492	0,1424	0,3723	0,2298
10.июл						
1	0,4510	0,4660	0,0507	0,2328	0,5231	0,2903
2	0,4699	0,4860	0,0453	0,3211	0,5196	0,1985
3	0,4814	0,5021	0,0544	0,2588	0,5351	0,2763
18.июл						
1	0,4523	0,4499	0,0576	0,2866	0,5570	0,2703
2	0,3974	0,3941	0,0509	0,2921	0,5173	0,2252
3	0,4671	0,4722	0,0531	0,3004	0,5705	0,2701
25.июл						
1	0,4787	0,4950	0,0506	0,3211	0,5342	0,2130
2	0,4464	0,4575	0,0346	0,3245	0,4960	0,1715
3	0,5064	0,5231	0,0456	0,3451	0,5423	0,1972
10.авг						
1	0,2416	0,2558	0,0374	0,1299	0,3254	0,1955
2	0,1986	0,1992	0,0817	0,0384	0,4084	0,3700
3	0,3357	0,2788	0,1140	0,1604	0,5694	0,4090
19.авг						
1	0,1390	0,1339	0,0219	0,1067	0,2341	0,1274
2	0,1590	0,1508	0,0490	0,0913	0,4041	0,3128
3	0,1600	0,1558	0,0175	0,1337	0,2335	0,0998

ных референсных показателей для картофеля в фазе максимального развития, составляющих 0,6...0,8 [8, 9].

Расчет стандартного отклонения и размаха значений NDVI выявил пространственную неоднородность на всех полях. Стандартное отклонение в период максимального развития (июль) составляло 0,03...0,06, однако размах достигал 0,17...0,29, что свидетельствует о наличии пятнистости в состоянии посевов. Особенно показательно сравнение минимальных значений NDVI, которые на всех полях опускались ниже 0,25 в отдельные периоды, указывая на наличие зон сильного угнетения растительности.

Полученные данные позволяют сделать вывод о неэффективном использовании мелиорируемых земель. Характер динамики NDVI типичен для культур, испытывающих постоянный водный стресс. Отсутствие резких скачков вегетационной активности после жарких периодов, которые характерны для проведения поливов, свидетельствует о том, что мелиоративная система либо не использовалась, либо использовалась эпизодически и неэффективно.

Сравнение статистических показателей между полями показывает, что несмотря на некоторые различия в абсолютных значениях NDVI (медиана от 0,39 до 0,52), все поля демонстрируют схожую негативную динамику. Это позволяет говорить о системном характере проблемы неиспользования мелиорации на исследуемой территории.

Низкие максимальные значения NDVI в сочетании с пространственной неоднородностью (размах 0,17...0,29) однозначно указывают на то, что потенциальная продуктивность мелиорируемых земель не реализуется. Полученные значения вегетационных индексов соответствуют уровню богарного земледелия, что свидетельствует о неэффективном использовании мелиоративной инфраструктуры.

Помимо статистического анализа, проводилась визуальная интерпретация рассчитанных индексов NDVI. Хотя в целом визуализация не выявила таких же четких пространственных закономерностей, как статистические данные, снимок за 24 июня оказался показательным (рис. 2).

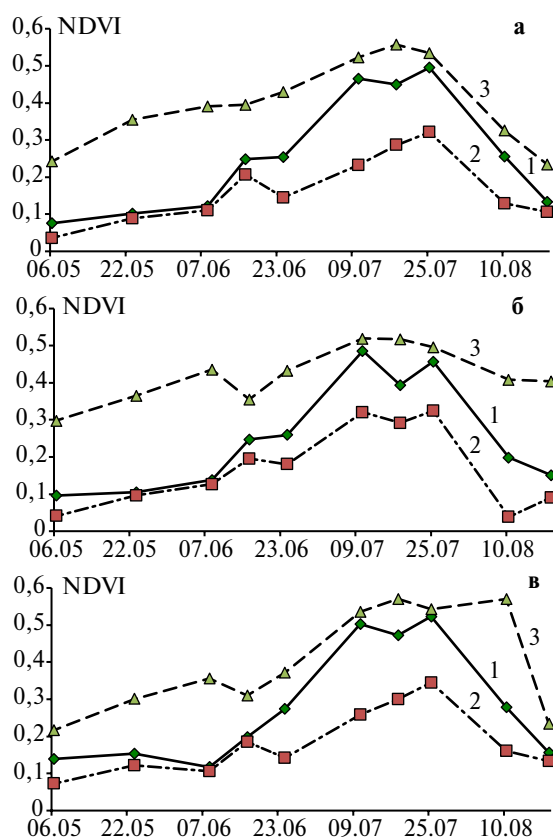


Рис. 1. Динамика индексов NDVI:

а – поле 1; б – поле 2; в – поле 3;

1 – медиана; 2 – минимум; 3 – максимум

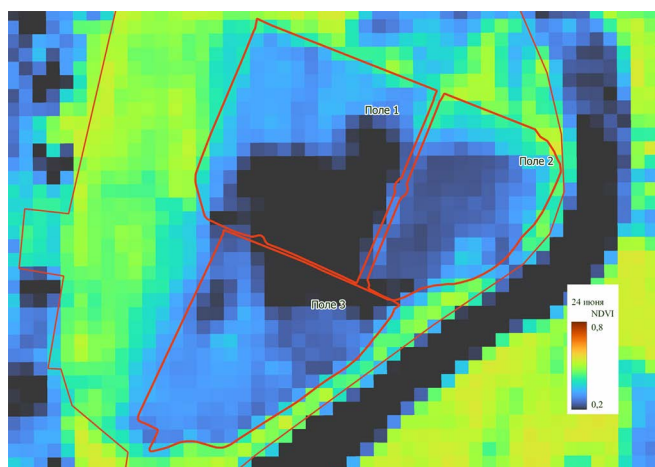


Рис. 2. Визуализация индексов NDVI по снимкам за 24 июня

На нем визуально прослеживается зона угнетенной растительности в центральной части участка, равноудаленной от открытых мелиоративных каналов и реки. Данная аномалия проявляется в виде концентрической области со значениями NDVI ниже среднего, что может свидетельствовать о недостаточном увлажнении этой территории. Несмотря на то, что данный паттерн не носил системного характера для всех анализируемых дат, его наличие подтверждает выводы о неиспользовании функционала мелиоративной системы и неравномерном распределении влаги по площади поля.

Выявленная ситуация требует пересмотра системы мониторинга использования мелиорируемых земель и внедрения оперативных методов дистанционного контроля, подобного представленному в данном исследовании.

Выводы. Проведенное исследование продемонстрировало эффективность использования данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга состояния мелиорируемых земель и оценки функционирования мелиоративных систем.

Комплексный анализ временных серий вегетационного индекса NDVI позволил установить, что максимальные значения вегетационной активности на полях, занятых картофелем, находились в критически низком диапазоне медианных значений NDVI (0,39...0,52), что существенно ниже референсных показателей для данной культуры в фазе максимального развития. Выявленный характер динамики NDVI демонстрирует плавный рост без резких скачков в периоды потенциального влагодефицита, что свидетельствует об отсутствии признаков поливных мероприятий и подтверждает гипотезу о неиспользовании мелиоративной системы.

Анализ пространственной изменчивости показал умеренную неоднородность состояния посевов при общей низкой продуктивности, что характерно для богарных условий возделывания. Визуальный анализ пространственного распределения NDVI дополнительно выявил локальные зоны угнетения растительности, наиболее выраженные в центральной зоне участка равноудаленной от мелиоративных каналов.

Полученные результаты свидетельствуют о системном характере проблемы неэффективного ис-

пользования мелиорируемых земель и подтверждают необходимость пересмотра существующей системы мониторинга их фактического использования. Предложенная методика на основе анализа временных серий NDVI показала свою надежность как инструмент независимой оценки функционирования мелиоративных систем и может быть рекомендована для внедрения в практику агромониторинга с целью повышения эффективности управления земельными ресурсами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева Н.В., Ниязов Т.А. Организация и рациональное использование мелиорируемых земель // Основные принципы развития землеустройства и кадастров. 2021. С. 3–6.
2. О необходимости рационального использования мелиорируемых земель для развития агропромышленного комплекса российской федерации / И.В. Фомкин [и др.] // International Agricultural Journal. 2024. Т. 65. № 6.
3. Лепехин П.П., Алиев Н.Н. Организация мониторинга орошаемых земель гиссарской долины Республики Таджикистан // Электронная наука. 2022. Т. 3. № 1. С. 25–34.
4. Зверьков М.С., Смелова С.С. Анализ состояния орошаемых культур по данным дистанционного зондирования Земли с использованием спектрального индекса NDVI // Экология и строительство. 2024. № 1. С. 24–34.
5. Зверьков М.С., Брыль С.В. Оценка мелиоративного состояния гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата // Природообустройство. 2021. № 2. С. 6–16.
6. Миков С.И. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование // Цифровые технологии и бизнес: материалы 79-й студенческой научно-технической конференции БНТУ. 2023. С. 34–42.
7. Басарыгина Е.М., Колотыгина Е.А. Использование спектрофотометрического оборудования для определения вегетационных индексов // АПК России. 2022. Т. 29. № 5. С. 608–614.
8. Зверьков М.С., Смелова С.С., Степанова Т.Г. Прогноз урожайности картофеля по значению индекса NDVI на эродированных землях // Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 2. С. 20–24.
9. Мазиров М.А., Шентеров А.А. Зависимость между урожаем картофеля, вико-овсяной смеси и индексом NDVI // Редакционная коллегия. 2024. С. 137.

REFERENCES

1. Alieva N.V., Niyazov T.A. Organization and rational use of reclaimed lands // Basic principles of land management and cadastre development. 2021. С. 3–6.
2. Fomkin I.V. et al. On the need for rational use of reclaimed lands for the development of the agroindustrial complex of the Russian Federation // International Agricultural Journal. 2024. Т. 65. № 6.
3. Lepekhin P.P., Aliev N.N. Organization of monitoring of irrigated lands of the Gissar valley of the Republic of Tajikistan // Electronic science. 2022. Т. 3. № 1. С. 25–34.
4. Zverkov M.S., Smelova S.S. Analysis of the state of irrigated crops according to remote sensing data using the NDVI spectral index // Ecology and construction. 2024. № 1. С. 24–34.
5. Zverkov M.S., Bryl S.V. Assessment of the reclamation state of the hydro-reclamation system using data from remote sensing of the earth and an unmanned aerial vehicle // Environmental management. 2021. № 2. С. 6–16.
6. Mikov S.I. Vegetation indexes. Fundamentals, formulas, practical use // Digital technologies and business: proceedings of the 79th BNTU Student Scientific and Technical Conference. 2023. С. 34–42.
7. Basarygina E.M., Kolotygina E.A. The use of spectrophotometric equipment for determining vegetation indices // Agroindustrial Complex of Russia. 2022. Т. 29. № 5. С. 608–614.
8. Zverkov M.S., Smelova S.S., Stepanova T.G. Potato yield forecast based on the NDVI index on eroded lands // Land reclamation and water management. 2025. № 2. С. 20–24.
9. Mazirov M.A., Shenterov A.A. Dependence between potato yield, vico-oat mixture and NDVI index // The Editorial board. 2024. С. 137.

Буряк Светлана Михайловна, канд. с.-х. наук; научный сотрудник, gomanowasweta@yandex.ru; **Беденко Алексей Евгеньевич**, мл. научный сотрудник, timbothdoom@gmail.com; **Миرون Дмитрий Сергеевич**, мл. научный сотрудник, d.mironov@tscx.gov.ru (ВНИИ «Радуга», п. Радужный, Коломенский г.о., Московская обл., Россия).

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В.В. ВЕРШИНIN, И.Г. РУДА

Ключевые слова: негативные последствия, окружающая среда, сельскохозяйственное землепользование, рекультивация нарушенных земель, трассы трубопроводов.

Keywords: negative impacts, environment, agricultural land use, reclamation of disturbed lands, pipeline routes.

Аннотация. В статье раскрываются и анализируются негативные последствия, связанные с отводом земель под трассы трубопроводов на хозяйственную деятельность сельскохозяйственных предприятий, экологическую обстановку прилегающих к трубопроводной сети территорий.

Отмечается, что размещение нефтегазовой инфраструктуры и трубопроводной сети в основном осуществляется за счет изъятия под эти цели земель сельскохозяйственного назначения. В результате нарушается организационно-хозяйственная и транспортно-коммуникационная системы сельскохозяйственных предприятий, создаются экологические риски загрязнения земель, снижаются площади продуктивных земель. Обращается внимание на то, что при размещении сооружений нефтегазового комплекса в соответствии с правилами охраны магистральных трубопроводов выделяются охранные зоны, которые значительно ограничивают хозяйственное использование этих территорий, при этом их площади на порядок превышают площади территории, на которых сооружаются капитальные постройки, обеспечивающие функционирование магистральной трубопроводной сети.

Указывается на серьезные нарушения, возникающие в результате невыполнения установленных правил по рекультивации нарушенных в результате строительства (прокладки) линейных объектов нефтегазовой отрасли земель. Основную тревогу, по мнению авторов, вызывает нарушение верхнего плодородного слоя и его частичная потеря при строительстве и последующей рекультивации нарушенных земель. Авторы обращают внимание на правовую ответственность за качество рекультивации как лиц приведших к возникновению необходимости рекультивации, так и собственников этих земель.

Рекомендации авторов статьи включают необходимость выплаты компенсаций сельскохозяйственным предприятиям за понесенные потери (убытки) связанные с негативными последствиями строительства, размещения и эксплуатации нефтегазовых сооружений; необходимость применения контрольных мер при реализации проектов рекультивации нарушенных земель и проведение мониторинга их текущего состояния.

Abstract. The article reveals and analyzes the negative consequences associated with the allocation of land for pipeline routes for the economic activities of agricultural enterprises, the environmental situation of the territories adjacent to the pipeline network.

It is noted that the placement of the oil and gas infrastructure and the pipeline network is mainly carried out due to the seizure of agricultural land for these purposes. As a result, the organizational, economic, transport and communication systems of agricultural enterprises are disrupted, environmental risks of land pollution are created, and the area of productive land is reduced. Attention is drawn to the fact that when oil and gas facilities are located in accordance with the rules for the protection of main pipelines, security zones are allocated that significantly limit the economic use of these territories, while their areas are an order of magnitude larger than the area of the territory where capital buildings are being constructed to ensure the functioning of the main pipeline network.

It indicates serious violations resulting from non-compliance with established rules for the reclamation of lands violated as a result of the construction (laying) of linear facilities in the oil and gas industry. The main concern, according to the authors, is the violation of the upper fertile layer and its partial loss during construction and subsequent reclamation of disturbed lands. The authors draw attention to the legal responsibility for the quality of reclamation of both the persons who led to the need for reclamation, and the owners of these lands.

The recommendations of the authors of the article include the need to compensate agricultural enterprises for losses (losses) incurred due to the negative consequences of the construction, placement and operation of oil and gas facilities; the need to apply control measures in the implementation of projects for the reclamation of disturbed lands and monitoring their current condition.

Введение. Устойчивое развитие любого государства зависит от наличия и рационального использования ее

основных ресурсов — земельных, трудовых и материальных. К этим трем ресурсам и основным факторам развития в современных условиях следует добавить информационные, включая научные или интеллектуальные ресурсы.

Наряду с перечисленными выше ресурсами очень важную роль играют энергетические ресурсы. Однако для того чтобы они стимулировали развитие государства недостаточно только их наличие на территории страны. Использование этих ресурсов как фактора развития государства возможен только при наличии перечисленных нами ресурсов: земельных, трудовых и материальных — они обеспечивают поиск, добычу, транспортировку и использование энергетических ресурсов. То есть энергоресурс в значительной степени, полагаем, можно рассматривать как ресурс созданный трудом человек для нужд самого человека.

По данным современных исследований, обработки статистических данных и прогнозов ученых (С.А. Ахметов, М.Х. Ишмияров, А.П. Веревкин, Е.С. Докучаев, Ю.М. Малышев и др.) [1], несмотря на развитие атомной энергетики, использовании источников возобновляемой энергии, успехов биоэнергетики — роль основных энергоресурсов в настоящее время принадлежит нефти и газу. Такое представление о роли и значении нефти и газа полностью соответствует оценке нефти и газа для нашей страны.

Это связано не только с тем, что в топливно-энергетическом балансе России доля природного газа превышает 50 %, а нефти 21...22 %. «...нефть и газ — это уникальные и исключительно полезные ископаемые. Продукты их переработки применяют практически во всех отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в военном и гражданском строительстве, сельском хозяйстве, энергетике, в быту и т. д. Из нефти и газа вырабатывают в больших количествах разнообразные химические материалы, такие, как пластмассы, синтетические волокна, каучуки, лаки, краски, моющие средства, минеральные удобрения и многое другое. Нефть и газ определяют не только экономику и технический потенциал, но часто и политику государства» [2].

Основная нефтедобывающая база России — это Западная Сибирь (до 70 % добычи), вторая по объемам добычи Волго-Уральская база (около 25 %), а наибольшая часть нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) размещена в европейской части России. Эти обстоятельства требуют решения проблемы транспортировки добытой нефти и газа.

Наиболее эффективным способом транспортировки нефти и газа считаются трубопроводы. Прокладка трубопроводов и их обслуживание весьма сложная инженерная и организационно управленческая задача. Решение задачи осуществляется в рамках специального проекта, предусматривающего выделение (отвод земель) под линейные объектами, к которым и относятся инженерных сооружения трубопроводного транспорта.

По данным Росреестра отвод земель под линейные объекты не менее чем на 75 % происходит за счет земель сельскохозяйственного назначения. Это логично, так как нефть и газ поставляется в обжитые людьми территории для последующей переработки, как указывалось выше, так и в качестве топливно-энергетического ресурса.

Проведенные нами исследования показали, что трассы трубопроводов, оказывают негативное воздействие на прилегающие к ним сельскохозяйственные территории, как при их строительстве, так и при эксплуатации. Поэтому особое внимание, полагаем, заслуживает проблема рекультивации земель, нарушенных в результате строительства трасс. Этому посвящены наши исследования, часть результатов которых представлено в данной публикации.

Цель исследования: представить в публикации результаты проведенных авторами работ по выявлению негативных последствий, связанных с прокладкой и эксплуатацией трасс трубопроводной сети на хозяйственную деятельность сельскохозяйственных предприятий. Раскрыть недостатки в проведении работ по рекультивации нарушенных земель, указать на необходимость применения компенсационных мер к предприятиям и отраслям, ощутившим негативное влияние, связанное с нарушением целостности сельскохозяйственного землепользования прокладкой трасс трубопроводов и их эксплуатацией. Обосновать необходимость всестороннего контроля за проведением рекультивации нарушенных земель.

Материалы и методы. В качестве материалов использовались данные из открытой печати по влиянию нефтегазовой отрасли на окружающую среду, прилегающие к трассам трубопроводам зонам сельскохозяйственного использования территории. Информация включала данные за предшествующий написанию текста 20 летний период.

В процессе проведения исследований в основном использовался монографический метод, позволивший описать актуальность и основные положения, определяющие проведение исследовательских работ. Применялся статистический метод исследования, элементы системного анализа и математического моделирования.

Результаты и их обсуждение. Как показали исследования, размещение трасс трубопроводов оказывают негативные воздействия на объекты прилегающих к ним территорий и процессы их функционирования:

- организацию хозяйственного, транспортно-коммуникационного, инфраструктурного и логистического использования прилегающих территорий вследствие ее расчленения трассами трубопроводов;
- изъятие без компенсаций, как правило, плодородных земель, используемых ранее для сельскохозяйственного производства, приводящее к снижению производства продукции и занятости трудоспособного населения;
- ограничение в использовании (прежде всего для сельскохозяйственных целей) прилегающих к трассам трубопроводов территорий;
- сознание экологической напряженности вследствие строительства инфраструктурных объектов сопровождающих эксплуатацию трубопроводов (компрес-

сорных станций, газ измерительных и газораспределительных станций, узлов и пунктов редуцирования газа, станций охлаждения газа и т. д., различных инженерных сооружений для транспортировки нефти и т. п.);

- нарушение экологического равновесия, вследствие разрушения экологического каркаса территории (лесных полос, оросительно-осушительной сети, специальных лесо-кустарниковых посадок инженерно-мелиоративных сооружений, специальных ландшафтных конструкций и т. п.;
- ухудшения рекреационной привлекательности территории и т. п.

Наряду с перечисленным выше, следует обратить внимание на то, что отвод линейного объекта при своей относительно не большой площади затрагивает большое количество различных землевладений и землепользований с различными организационно-правовыми формами владения (пользования) землей и формами хозяйствования. Это создает дополнительные трудности для оформления отводов земель, расчета компенсаций за изымаемые участки и изменения условий последующего использования сохранившихся участков для сельскохозяйственных нужд [3].

Наибольшее внимание, полагаем, необходимо уделить следующей особенности линейного объекта, которым является трубопровод — созданием охранных зон магистральных трубопроводов в соответствии Правилами охраны магистральных трубопроводов [4, 5] (табл. 1).

Как видно из данных таблицы вокруг или вдоль всех объектов магистральных трубопроводов проектируются охранные зоны, это не только ограничивает хозяйственное использование территории, расположенной вблизи объектов обслуживания трубопроводов, но и формирует «пестроту» сохранившегося сельскохозяйственного землепользования, что усугубляет обычные ограничения, налагая дополнительные проблемы на технологическую логистику сельхозпредприятия

Приведенные в табл. 2 данные, показывающие размеры охранных зон из расчета на 1 км линейного объекта, позволяют определить ориентировочные ограничения в использовании земель сельскохозяйственного назначения при разработке проекта размещения трубопровода [6].

В табл. 3 дана примерная оценка занятых и обремененных земель в Российской Федерации объектами трубопроводного транспорта [6]. Обращает на себя внимание соотношение площади земель, занятых только учтенными Росреестром наземными объектами трубопроводного транспорта (показатель 14) и итоговой площадью, занятой и обремененной объектами магистрального трубопроводного транспорта. Это соотношение показывает, что охранные зоны линейных трубопроводов на порядок (в десять с лишним раз) превышает площадь отвода для размещения капитальных построек самого линейного объекта.

Следует также отметить, что площадь занятая наземными объектами трубопроводного транспорта включают следующие регламентированные СП 36.13330.2012 [7] правилами: «5.9. В состав магистральных трубопроводов входят:

Таблица 1

Размеры охранных зон магистральных трубопроводов

Объекты магистрального трубопровода	Ширина охранной зоны
Вдоль трасс трубопроводов, транспортирующих нефть, природный газ, нефтепродукты, нефтяной и искусственный углеводородные газы	25 м от оси с каждой стороны
Вдоль линейной части многониточного магистрального трубопровода	25 м от осей крайних ниток с каждой стороны
Вдоль трасс трубопроводов, транспортирующих сжиженные углеводородные газы, нестабильные бензин и конденсат	100 м от оси с каждой стороны
Вдоль подводных переходов через водные преграды	100 м от оси с каждой стороны
Вдоль газопроводов, соединяющих объекты подземных хранилищ газа	25 м от осей газопроводов с каждой стороны
Вокруг компрессорных станций, газоизмерительных станций, газораспределительных станций, узлов и пунктов редуцирования газа, станций охлаждения газа	Условной замкнутой линией, отстоящей от внешней границы указанных объектов на 100 м с каждой стороны
Вокруг технологических установок подготовки продукции к транспорту, головных и промежуточных перекачивающих и наливных насосных станций, резервуарных парков, компрессорных и газораспределительных станций, узлов измерения продукции, наливных и сливных эстакад, станций подземного хранения газа, пунктов подогрева нефти, нефтепродуктов	Условной замкнутой линией, отстоящей от внешней границы указанных объектов на 100 м с каждой стороны
Вокруг емкостей для хранения и разгазирования конденсата, земляных амбаров для аварийного выпуска продукции	50 м во все стороны

Таблица 2

Таблица 3

Площадь обремененной территории на 1 км трассы магистрального однопроводного трубопровода, га

Линейная часть магистрального трубопровода, диаметр	Площадь обремененной территории на 1 км трассы, га		
	Полоса отвода на землях с.-х. назначения	Охранная зона	Зона минимальных расстояний
Газопровод, 1420	4,5	5	70
Нефтепровод, 1020	4,2	5	40

Примерная оценка занятых и обремененных земель в РФ объектами трубопроводного транспорта

№	Показатель	Значение	%
1	Протяженность трубопроводов, всего (приблизительно), км	258275,2	
2	Максимальная ширина полосы отвода, м	45,0	
3	Площадь компрессорных станций (приблизительно), га	10160,0	
4	Площадь нефтеперекачивающих станций, всего (приблизительно), га	40000,0	
5	Площадь СПХГ, всего (приблизительно), га	1750000,0	
6	Площадь полосы отвода, всего (приблизительно), га	1162238,4	
7	Площадь охранной зоны, всего (приблизительно), га	1291376,0	
8	Площадь зоны минимальных расстояний, всего (приблизительно), га	18079264	
9	Площадь территории, обремененной компрессорными станциями, всего (приблизительно), га	137274,3	
10	Площадь территории, обремененной нефтеперекачивающими станциями, всего (приблизительно), га	50000,0	
11	Итого площадь постоянного отвода (приблизительно), га	2962398,4	0,2
12	Итого площадь обремененной территории (приблизительно), га	20016538,3	1,2
13	Площадь Российской Федерации	1723399100	100,0
14	Площадь земель занятая учтенными наземными объектами трубопроводного транспорта по данным Росреестра на 1 января 2023 г., га	17000,0	0,001
15	Итого занятая и обремененная площадь объектами магистрального трубопроводного транспорта (приблизительно), га	22978936,7	1,3

- трубопровод (от места выхода с промысла подготовленной к дальнему транспорту товарной продукции) с ответвлениями и лупингами, запорной арматурой, переходами через естественные и искусственные препятствия, узлами подключения НПС, КС, УЗРГ, ПРГ, узлами пуска и приема очистных устройств, конденсатосборниками и устройствами для ввода метанола;
- установки электрохимической защиты трубопроводов от коррозии, линии и сооружения технологической связи, средства автоматики и телемеханики;
- линии электропередачи, предназначенные для обслуживания трубопроводов и устройства электрооборудования и дистанционного управления запорной арматурой и установками электрохимической защиты трубопроводов, сети связи;
- противопожарные средства, противозерозионные и защитные сооружения трубопроводов;
- емкости для хранения и разгазирования конденсата, земляные амбары для аварийного выпуска нефти, нефтепродуктов, конденсата и сжиженных углеводородов;
- здания и сооружения линейной службы эксплуатации трубопровода вдольтрассовые проезды и вертолетные площадки, расположенные вдоль трассы трубопровода, и подъезды к ним, опознавательные и сигнальные знаки местонахождения трубопроводов;
- головные и промежуточные НПС (насосные промежуточные станции) и наливные станции, НС

(насосные станции), резервуарные парки, КС и ГРС (газораспределительная станция);

- СПХГ (станции подземного хранения газа);
- пункты подогрева нефти и нефтепродуктов»

Нами приведен этот перечень, чтобы подчеркнуть, что все эти сооружения не только занимают площади сельхозугодий, но и предусматривают создание вокруг них охранных зон, ограничивающих хозяйственное использование этих территорий (зон).

Безусловно, что ограничение в использовании сельскохозяйственных земель требует соответствующей компенсации сельхозпроизводителям.

Кроме перечисленных негативных последствий, связанных только с самим фактом отвода земельных участков под размещение трасс трубопроводов и их последующей эксплуатацией возникает ряд негативных последствий в процессе рекультивации нарушенных земель после прокладки трассы и создания построек, обеспечивающих эксплуатацию этой сети.

Речь идет о восстановлении нарушенных территорий или, точнее, о тех недостатках, которые возникают в процессе рекультивации нарушенных земель, а также недостатках учета последующей рекультивации при проведении работ при прокладке трубопроводной сети.

К недостаткам, приводящим к негативным последствиям, можно отнести следующие.

1. В соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации на территории, отведенной для строительства объектов и прокладке трассы трубопроводной сети, а также прилегающих к линейным объектам территории предусмотрено обязательное снятие верхнего плодородного слоя почвы до начала строительных работ. Снятый плодородный слой перемещают в специализированный отвал (бурт) для хранения.

Однако в процессе удаления и перемещения плодородного слоя почвы в специализированные отвалы и последующим возвращением его на рекультивируемую территорию *происходят значительные потери плодородного слоя*. Причиной тому является неполное снятие этого слоя для переноса в бурты либо, наоборот — снятие плодородного слоя вместе с подстилающими породами. В результате теряется значительная часть плодородного слоя и (или) перемешивается с подстилающей породой, что также равноценно потерям. Значительное или очень близкое расстояние от мест хранения плодородного слоя почвы до мест активного строительства усугубляет результат рекультивации.

2. Рекультивация предусматривает обязательный вывоз строительного мусора, отходов использованной строительной инфраструктуры и прочих техногенных загрязнителей со стройплощадки, однако, часто этот мусор закапывается в образовавшиеся ямы и иные углубления при размещении линейного объекта.

С мусором, а также иными отходами строительства (сбросами жидких токсичных соединений) в почвогрунты также попадают химические загрязнители. Это значительно ухудшает состояние почвенного покрова, а иногда лишает возможности использовать после рекультивации этот почвенный покров для сельскохозяйственных целей.

3. Образовавшиеся после рекультивации насыпи в результате обязательного землевания, как правило, не укрепляются кустарниковыми насаждениями или специаль-

ными травосмесями. Для укрепления возможных откосов не используются специальные биотехнические материалы и биотехнические методы. Результатом отсутствия указанных работ является эрозия почв — нарушение или деградация поверхностного слоя агроландшафта.

4. В процессе строительства (прокладки трубопроводной сети) очень часто нарушаются размеры (параметры, границы) отведенных в соответствии нормативами СНиП рабочих площадок, а также площадок для складирования строительных материалов и строительных отходов. В результате расширяется площадь работ по рекультивации, возникают осложнения в использовании территорий, не выделенных для прокладки трубопроводной сети. Эти территории, как правило, не подлежат последующей рекультивации.

5. Изменение состояния территории после строительных работ по размещению нефтегазовых сооружений требует комплексной рекультивации, включающей одновременно несколько направлений рекультивации: природоохранную, сельскохозяйственную, лесохозяйственную, водоохранную и т. п. Понимание необходимости комплексной рекультивации происходит после оценки состояния территории, подлежащей рекультивации и, как следствие, может не предусматриваться в проекте рекультивации.

Следует отметить, что при сельскохозяйственной рекультивации в обязательном порядке должны быть предусмотрено внесение необходимых доз удобрений.

Особое внимание заслуживает рекультивация нефтезагрязненных земель, возникших в результате аварийных разрывов нефтепроводов. Работы по рекультивации таких земель строго регламентированы и включают несколько последовательных этапов [8], выполнение которых крайне необходимо, так как последствия такого загрязнения при недобросовестном выполнении работ может негативно сказываться многие годы.

Анализируя процессы возникновения проблем, связанных с рекультивацией земель, нарушенных прокладкой и эксплуатацией трасс нефте- и газопроводов, полагаем отметить, что рекультивация нарушенных земель должна также базироваться на научно-обоснованном выполнении строительных и эксплуатационных норм и правил, что сведет к минимуму ликвидацию указанных нами негативных последствий посредством рекультивации.

Важным требованием, регулирующим рекультивацию земель, является тот факт, что в соответствии с п. 3 Постановление Правительства Российской Федерации от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель»: *«Разработка проекта рекультивации земель и рекультивация земель, разработка проекта консервации земель и консервация земель обеспечиваются лицами, деятельность которых привела к деградации земель, в том числе правообладателями земельных участков, лицами, использующими земельные участки на условиях сервитута, публичного сервитута, а также лицами, использующими земли или земельные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности, без предоставления земельных участков и установления сервитутов»* (Курсив авторов) [9]. Указанное возлагает обоюдную ответственность за результаты

рекультивации, качество их выполнения с учетом вида последующего хозяйственного использования территории.

Представленные результаты исследований позволяют сделать **выводы** и предложения.

1. Развитие трубопроводного транспорта играет важную роль в обеспечении страны энергетическим сырьем, однако, его размещение и эксплуатация оказывает ряд негативных последствий на прилегающие к трассам территории, учет и снижение влияния которых до минимума требует научного анализа и практических решений.

2. При размещении инфраструктуры нефтегазового комплекса, прилегающие к нему территории, ограничиваются в использовании. Эти территории по площади более чем в десять раз превосходят площади, занятые капитальными постройками нефтегазовой инфраструктуры, и в основном состоят, из земель сельскохозяйственного назначения. Поэтому необходима система учета компенсационных выплат, вызванных ограничительными мерами.

3. Процесс рекультивации и его результаты, так же, как и размещение транспортной инфраструктуры нефтегазовой отрасли, оказывают негативное влияние на окружающую природную среду и последующее, после рекультивации землепользование. Основной причиной является нарушение требований проведения рекультивации в соответствии с его проектом, что определяет необходимость проведения контроля над работами по рекультивации со стороны государственных органов и заинтересованных лиц (прежде всего правообладателей земельных участков, подлежащих рекультивации).

4. Для комплексной и всесторонне обоснованной оценки качества проведенных мероприятий по рекультивации нарушенных земель следует использовать инструментарий, предусмотренный землеустроительной документацией на проведение аналогичных мероприятий, а также положений, изложенных в Постановлении Правительства Российской Федерации от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель».

Заключение. *Рекультивация нарушенных земель должна рассматриваться как обязательное условие развития добывающей отрасли.* Это обосновано тем, что объекты отрасли в большинстве своем становятся источниками негативного влияния на развитие других отраслей и, прежде всего, — сельскохозяйственное производство. В основе ликвидации негативного влияния добывающих отраслей на окружающую среду и другие отрасли хозяйства должно лежать безусловное выполнение комплекса производственно-технических работ в строгом соответствии с установленными государством нормативами и правилами. Это обеспечивает сведение к минимуму проблемы рекультивации нарушенных земель, а отрасли, пострадавшие от негативного воздействия должны получать компенсации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа: учеб. пособие / С.А. Ахметов, М.Х. Ишмиyarov, А.П. Вереvкин, Е.С. Докучаев, Ю.М. Малышев; под ред. С.А. Ахметова. М.: Химия, 2005. 736 с.

2. Шмудевич М.И. Транспортная инфраструктура нефтегазовой отрасли России // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 6(73). С. 36–44.

3. Вершинин В.В. Сидоренко М.В. Роль землеустройства при размещении линейных объектов на землях сельскохозяйственного назначения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 2(380). С. 10–13.

4. Приказ Ростехнадзора № 452, Минэнерго России № 1458 от 23.12.2021 «О внесении изменения в приказ Ростехнадзора и Минэнерго России от 15 сентября 2020 г. № 352/785». URL: <https://www.consultant.ru>, свободный (Дата обращения 10.11.2025).

5. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и Министерства энергетики РФ от 15 сентября 2020 г. № 352/785 «О признании не подлежащими применению Правил охраны магистральных трубопроводов, утвержденных Минтопэнерго России 29 апреля 1992 г. и постановлением Госгортехнадзора России от 22 апреля 1992 г. № 9» (с изменениями и дополнениями). URL: <https://www.consultant.ru>, свободный (Дата обращения 10.11.2025).

6. Ковалева Т.Н., Вершинин В.В. Васильев Г.Г. Экономические и технологические аспекты отвода земли для размещения объектов трубопроводного транспорта // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 10(116). С. 156–169. Doi: 10.33938/2410–156

7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06–85 (с Изменением № 1) СП (Свод правил) от 25.12.2012 № 36.13330.2012. URL: <https://www.fkr-spb.ru/upload/iblock/546/w10pt1os411mt12i9h948sqmxx77crg6.pdf?ysclid=milvbw5u95846604947> (Дата обращения 10.11.2025).

8. Инструкция по ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепродуктопроводах РД 153-112-014–97. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846562.pdf?ysclid=mioeqs7ehr717243186> (Дата обращения 10.11.2025).

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель». URL: <https://tpn.gov.ru/upload/iblock/529/4ffu08m401gagk2op8Zzfuac5rz9t1c/Postanovlenie-Pravitelstva> (Дата обращения 10.11.2025).

REFERENCES

1. Tekhnologiya, ekonomika i avtomatizatsiya protsessov pererabotki nefiti i gaza: Ucheb. posobie / S.A. Akhmetov, M.Kh. Ishmiyarov, A.P. Verevkin, Ye.S. Dokuchaev, Yu.M. Malishev; Pod red. S.A. Akhmetova. M.: Khimiya, 2005. 736 s.

2. Shmulevich M.I. Transportnaya infrastruktura neftegazovoi otrasti Rossii: Nauchnaya statya // Transport Rossiiskoi Federatsii. 2017. № 6(73). S. 36–44.

3. Vershinin V.V. Sidorenko M.V. Rol zemleustroistva pri razmeshchenii lineinikh obektov na zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya // Mezhdunarodnii sel'skokhozyaistvennii zhurnal. 2021. № 2(380). S. 10–13.

4. Prikaz Rostekhnadzora № 452, Minenergo Rossii № 1458 ot 23.12.2021 «O vnesenii izmeneniya v prikaz Rostekhnadzora i Minenergo Rossii ot 15 sentyabrya 2020 g. № 352/785» URL: <https://www.consultant.ru>, svobodnii. (Data obrashcheniya 10.11.2025g.)

5. Prikaz Federalnoi sluzhbi po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru i Ministerstva energetiki RF ot 15 sentyabrya 2020 g. № 352/785 «O priznanii ne podlezhashchimi primeneniyu Pravil okhrani magistralnikh truboprovodov, utverzhdenikh Mintopenergo Rossii 29 aprelya 1992 g. i postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 22 aprelya 1992 g. № 9» (s izmeneniyami i dopolneniyami). URL: <https://www.consultant.ru>, svobodnii. (Data obrashcheniya 10.11.2025g.)

6. Kovaleva T.N., Vershinin V.V. Vasilev G.G. Ekonomicheskie i tekhnologicheskie aspekti otvoda zemli dlya razmeshcheniya obektov truboprovodnogo transporta // Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaistve. 2024. № 10(116). S. 156–169. Doi: 10.33938/2410–156

7. SP 36.13330.2012. Magistralnie truboprovodi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.05.06–85 (s izmeneniem № 1) SP (Svod pravil) ot 25.12.2012 № 36.13330.2012 URL: <https://www.fkr-spb.ru/upload/iblock/546/w10pt1os411mt12i9h948sqmxx77crg6.pdf?ysclid=milvbw5u95846604947> (Data obrashcheniya 10.11.2025).

8. Instruksiya po likvidatsii avarii i povrezhdenii na magistralnikh nefteproduktoprovodakh RD 153-112-014–97. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846562.pdf?ysclid=mioeqs7ehr717243186> (Data obrashcheniya 10.11.2025).

9. Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 29.05.2025 № 781 «Ob utverzhdenii Pravil provedeniya rekultivatsii i konservatsii

zemel». URL: [https://rpn.gov.ru/upload/iblock/529/4ff908m401gagk2op82zfuac5r29ti1c/Postanovlenie-Pravitelstva_\(Data_obrahscheniya_10.11.2025\).](https://rpn.gov.ru/upload/iblock/529/4ff908m401gagk2op82zfuac5r29ti1c/Postanovlenie-Pravitelstva_(Data_obrahscheniya_10.11.2025).)

Вершинин Валентин Валентинович, доктор экон. наук, профессор, зав. кафедрой геоэкологии и природопользования,

v.vershinin.v@mail.ru, ORCID 0000-0001-9046-827X, Scopus ID: 57190580623, Researcher ID: O-1151-2017; **Руда Иван Глебович**, аспирант кафедры геоэкологии и природопользования, *ivan.ruda@mail.ru*, ORCID 0009-0007-6087-8711 (Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия).

УДК 628.11

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-36-40

ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ РАБОТЫ БЕСФИЛЬТРОВЫХ СКВАЖИН

К.К. КАНТЕЕВ

Ключевые слова: бесфильтровая артскважина, устойчивость кровли водоноса, изоляция водоносного горизонта, закрепление башмака, вскрытие водоноса, гидростатический напор, обратный фильтр.

Keywords: unfiltered art well, stability of the carrier roof, isolation of the aquifer, fixing the shoe, opening the water carrier, hydrostatic pressure, reverse filter.

Аннотация. Подземные воды широко используются в системе водоснабжения Пензенской области, в структуре общего водопользования в области, на долю подземных вод приходится порядка 70 %.

Для более эффективного и рационального использования артезианских вод необходимо совершенствовать технологию и конструкцию водозаборных трубчатых колодцев.

Одно из важных направлений в развитии ресурсосберегающей технологии и снижения себестоимости добычи воды является строительство и внедрение бесфильтровых скважин.

Такие скважины в отличие от фильтровых не требуют затрат на выполнение дорогостоящих мероприятий: оборудования необходимым типом фильтра, устранения, в процессе эксплуатации, химического застарания, причин заиливания, замены фильтра и т. д.

Эти негативные факторы, в конечном счете, также сильно влияют и на срок эксплуатации фильтровых скважин, что ограничиваются 5...8 годами.

Для бесфильтровых скважин эксплуатационный срок ограничивается сроком коррозионного разрушения обсадных труб. Как практика показывает, такие скважины работают 25...35 лет и более.

При выборе и целесообразности строительства артскважины той или иной конструкции, бесфильтровые скважины являются приоритетными.

Низкая себестоимость добычи воды у таких скважин достигается за счет исключения затрат на обустройства фильтра, увеличение дебита не менее чем в 2...5 раза, снижение эксплуатационных расходов и увеличение срока службы, как показывает практика, до 5 раз.

Abstract. Groundwater is widely used in the water supply system of the Penza region. Groundwater accounts for approximately 70 %.

For more efficient and rational use of artesian water, it is necessary to improve the technology and design of water intake tube wells/

One of the important areas in the development of resource saving technology and reduction of water production costs in the construction and implementations of filterless wells.

Unlike filter wells, these wells do not require expensive equipment, such as filters, maintenance during operation, chemical fouling, siltation, filter replacement, etc.

These negative factors ultimately also greatly affect the service life of filter wells, which is limited to 7–8 years.

For filterless wells the operational life is limited by the corrosion failure of the casing. Experience shows that such wells operate for 25–35 years or more.

When choosing on the feasibility of constructing an artesian well of a particular design, filterless wells are a priority.

The low cost of extracting water is achieved by installing the flow rate by at least 2–5 times reducing operating costs and extending the service life by up to 5 times.

Введение. На территории области подземные воды распространены повсеместно и являются основным источником водоснабжения Сурско-Хоперского артезианского бассейна.

Наиболее мощные водоносные горизонты, содержащие пресные воды приурочены к породам сызранской свиты (палеогеновая система), меловой системы,

отложениями среднего отдела карбона (каменноугольной системы) и верхнего девона.

Отложения средне- и верхнего девона и каменноугольной системы представлены водосодержащими породами – известняками, доломитами, мергелями, песчаниками и переслаивающимися водоупорными глинами.

Палеогеновый комплекс представлен водоносными горизонтами также из устойчивых пород – нижнесызранских опок, верхнесызранских глауконитовых песчаников, царицынских опок и песчаников, редко встречающимися саратовским кварцевым песком с подчиненными им песчаниками [1].

При заложении трубчатых колодцев с этих водоносных горизонтов, представленными устойчивыми водовмещающими породами, не требуется устройства фильтров.

Преобладающим источником подземного водоснабжения являются верхне- и нижнемеловые отложения с широким спектром (порядка 10 ярусов) водоносных горизонтов, которые распространены также повсеместно на территории области в различных геологических и гидрогеологических условиях.

По литологическому составу и степени обводненности они весьма неоднородны.

Если Маастрихтский ярус верхнего мела представлен водовмещающими породами из мергеля и мела, то водоносные горизонты (кампанский, сантонский, сенеманский) и из нижнего (мела-альбский, аптский, западнее р. Суры) – в основном мелко и среднезернистыми песками [1].

Дебиты скважин с этих горизонтов колеблется от 1 до 14 л/с. Такое различие в дебитах скважины определяется, главным образом, их конструкцией. Наибольшим дебитом обладают скважины бесфильтровой конструкции [1].

Значительное количество артскважин обустроены и обустраиваются именно на этих водоносных горизонтах.

Дальнейшее усовершенствование технологии бурения бесфильтровых скважин является важным направлением в достижении экономической эффективности капложений для целей водоснабжения населенных пунктов области.

Очевидно, что по сравнительным расчетам экономической эффективности бесфильтровые скважины обладают более высокой экономичностью.

Тем не менее, в нынешних, современных условиях существует ряд проблем сдерживающие фактор широ-

кого внедрения бесфильтровых трубчатых колодцев для забора воды из подземных источников водоснабжения.

Так например, ранее изданная справочная литература в нашей стране не переиздается с обновленными данными научно-практических достижений в той или иной области, уже многие года.

Существует кадровая проблема, прежняя школа наставничества и преемственности профессий, ныне прервана. Тогда были мастера-буровики, освоившие технологию бурения бесфильтровых скважин на высоком профессиональном уровне. Большинство скважин, сооруженные в 70–80-х годах прошлого века, работают до сих пор.

Мастер-буровик, опытный наставник, и новатор **Василий Иванович Наумов** в совершенстве освоил технологию бурения бесфильтровых скважин на территории Пензенской области. Почетный строитель (1979), заслуженный мелиоратор РСФСР (1988), ветеран труда (1988), награжден орденом Трудового Красного Знамени (1976), медалью «За трудовую доблесть» (1971).

При проектировании разведочно-эксплуатационных скважин на воду проектными организациями не прорабатывается раздел бесфильтровых скважин в виду отсутствия у них достаточной и необходимой справочной литературы и опыта проектирования.

Безусловно, также требуется решать ряд теоретических, исследовательских и организационных вопросов.

Ранее проблемы находились в ведении профильных ведомств в едином отраслевом пространстве, где были соответствующие специалисты: отделы по внедрению научно-технического прогресса (НТП), изобретения и рационализации, НИС, и они успешно решались.

А ныне существующая региональная административно-управленческая структура еще не выработала рациональную организационную политику в современных условиях, позволяющую объединить в единую русло всех участников с различными организационно-правовыми формами для профессионального и эффективного решения проблем подземного водоснабжения качественной питьевой водой населения области. Отсутствие научно обоснованной региональной концепции развития прогрессивной системы водоснабжения, в том числе и из подземных источников, только усугубляет остроту проблем. И неудивительно, что эти наукоемкие и сложно-организационные вопросы ныне возложены на сельские администрации.

При таком анахронизме в системе управления и речи быть не может о совершенствовании или внедрении какой-либо прогрессивной и эффективной технологии. Поэтому они остаются нерешенными как на стадии проектирования и строительства, так и в процессе эксплуатации.

Цель исследования заключается в дополнении к теоретическим обоснованиям строительства и эксплуатации бесфильтровых скважин, освещенных в справочной и технической литературе, проверенными на практике данными.

Расширенная область применения результатов практических исследований технологии бурения бесфильтровых скважин: формирование водоприемных воронок методом сопряжения башмака колонны

с кровлей водоноса, вскрытие пласта (кровли) и метода стабилизации водопритока.

Результаты исследования и их обсуждения. Как свидетельствует 45-летняя эксплуатационная практика на территории Пензенской области, бесфильтровые скважины не пескуются и надежно работают, если они имеют прочную кровлю, плотную затрубную и межтрубную цементацию и постоянный отбор воды, ни в коем случае не превышающую установленного дебита (производительность насоса должна быть на 15...20% меньше дебита скважины).

Абсолютное большинство трубчатых колодцев, построенных на песчаных водоносных горизонтах, ни разу не запесковались и не ремонтировались. Это лишний раз подтверждает долговечность их работы.

В отличие от скважин, оборудованных фильтрами и построенных в тех же гидрогеологических условиях, бесфильтровые скважины позволяют получать из пластов с рыхлыми породами большие дебиты. Они имеют меньшую металлоемкость, повышенную надежность в работе, большую долговечность.

Вопросы строительства и эксплуатации, а также теоретические основы отбора воды из водоносных горизонтов в последние десятилетия освещены в ряде журнальных научных статей, специальной справочной и технической литературе. Но эти публикации недостаточно полно отражают такие водозаборы, изданы небольшим тиражом, или вмонтированы небольшими разделами в учебную и научную литературу, не полностью подкрепленную данными практики [2–4, 6–8].

Поэтому напрашиваются некоторые уточнения по результатам эксплуатации более 3 тысяч скважин бесфильтровой конструкции, сооруженных в Пензенской области.

Многие авторы склонны не замечать одной очень важной технологической особенности устройства бесфильтрового трубного колодца: конструкции в зоне сопряжения башмака эксплуатационной колонны с самой верхней частью кровли эксплуатационного водоносного горизонта [2–4, 6–8].

Для оборудования и эксплуатации бесфильтровых водозаборных скважин, забирающих воду из мелкозернистых, глинистых и пылеватых песков, по меньшей мере, необходимы пять условий:

1. Прочная водоупорная кровля.
2. Гидростатический напор, равный не менее 1/2 глубины скважины.
3. Закрепление башмака эксплуатационной колонны без выхода в водоносный слой в верхней части кровли. Вскрытие кровли под эксплуатационную колонну, при этом достаточно 1...2 м. Допускается и большее вскрытие, при мощности кровли более 10 м. Как практика показывает, оптимальное вскрытие кровли водоноса обеспечивается в интервале 20...25% от ее мощности.
4. Надежная изоляция водоносного горизонта от вышерасположенных водоносных слоев, которая достигается не только затрубной и межтрубной изоляцией, но и за счет плотного проникновения башмака колонны в кровлю принудительным вдавливанием.

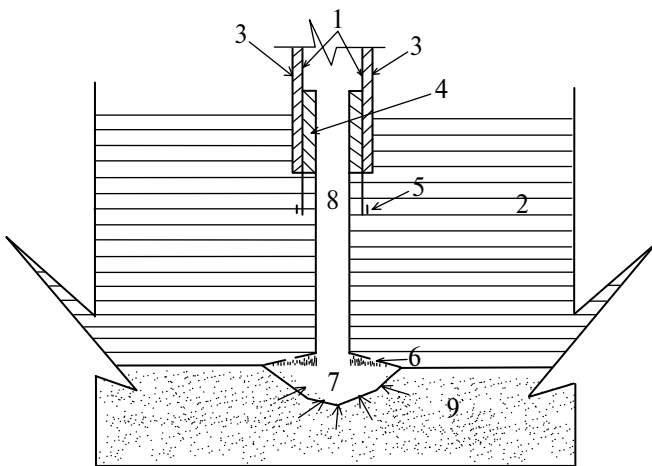


Рис. 1. Фрагмент зоны сопряжения башмака эксплуатационной колонны в кровле водоноса бесфильтровой скважины

5. Разбуривание кровли (прокол) при вскрытии водоноса внутри обсадной трубы должно обеспечиваться долотом с меньшим диаметром, не менее чем на 25% от внутреннего диаметра эксплуатационной колонны, т. е. необходимо создать плечо внутри колонны за счет разности диаметров в зоне сопряжения башмака с кровлей (рис. 1).

Как показывают результаты пробных откачек воды – такие скважины быстро прокачиваются без больших выносов песка.

При вскрытии водоносного горизонта буровым инструментом врезка в песчаный пласт должна быть самой минимальной (2...3 м). Установлено, что чем меньше глубина проходки в пласт, тем меньше выносится песок из водоносного слоя, тем короче и полноценнее строительная откачка. Во всяком случае, выпуск башмака эксплуатационной колонны в водоносный слой недопустим, хотя некоторыми авторами [2, 6–8] он необоснованно допускается до 0,5 м и более, аргументируя склонность глин к набуханию и пучению. В присутствии воды произойдет выпор стенок скважин и прекращение подачи воды. При этом авторы упускают из виду важный момент технологического процесса – формирование сопряжения ствола прокола 8 (см. рис. 1) с водоносом за счет соответствующих буро-технических мероприятий.

Следует также отметить, что при выпуске башмака эксплуатационной колонны труб в водоносный слой невозможно выполнить мероприятия по затрубной цементации, а это, в свою очередь, приведет к контурной фильтрации с транспортировкой пород в основной водонос.

С.К. Абрамов и В.С. Алексеев отмечают слишком большой объем выносимого песка из каверн при откачках (до 200 м³ и более) и суть основного технологического требования этих скважин в создании каверн таких размеров, которые обеспечивают устойчивый водоприток без пескования [4].

По данным практики неточности здесь таковы: если просматривается очень большой вынос пород при откачке воды, то либо не обеспечена надежная затрубная цементация и имеет место подвижка песков из вы-

шерасположенных одного или нескольких водоносных слоев вниз по затрубному кольцевому пространству, либо низ эксплуатационной колонны труб выпущен в водоносный горизонт. Поэтому построенные технологически правильно бесфильтровые скважины прокачиваются сравнительно быстро, выносят мало породы и имеют в основном воронки глубиной не более 0,5...2,5 м.

В то же время очень правильно отмечается:

- незначительное влияние размера частиц на формирование каверны;
- радиус каверны у кровли водоносного слоя мало влияет на дебит;
- глубина каверны увеличивается по мере роста радиуса;
- водоприток в основном зависит от характера откоса и глубины каверны;
- устойчивость кровли имеет очень большое значение при расчете водоприемной воронки.

В дополнение к этому нельзя не отметить, что во время откачки, организуемой при нескольких водопонижениях, формируются водоприемные полости (воронки), как правило, небольших размеров, наиболее близко возможно приближающиеся к форме шарового сегмента, с естественно образующимся своего рода фильтром на его поверхности (обратный фильтр).

Вывод подтверждается также тем, что большинство водосодержащих пластов Сурско-Хоперского артезианского бассейна отличаются большой неоднородностью слагающих их частиц, просматриваемой в конусах выноса при строительных откачках и эксплуатационных прокачках. Оседаемые во время откачек на сферической поверхности полости более крупные частицы водосодержащей породы образуют обратный естественный фильтр, стабилизирующий работу воронок.

Известно, что разработку подкровельных водоприемных частей целесообразнее осуществлять эрлифтными установками, хотя для этого можно применять и иные технические средства (погружные насосы, обратную промывку с помощью грязевых насосов бурустановок через бурильные трубы, желонирование и др.) При этом, в зависимости от крупности водовмещающего песка, манометрического напора, условий герметизации водоносного слоя от других водоносных горизонтов, вида кровли, мощности компрессорной установки, соотношения диаметров и глубин опускания водоподъемных и воздушных труб, продолжительность строительных откачек, необходимых для создания подкровельного водоприемного пространства, будет различной [1].

Прокачка скважины преследует одну цель – восстановить водоприток, повысить эксплуатационную надежность, уточнить водоотдачу вскрытого пласта и по возможности увеличить производительность колодца. Прокачка бесфильтровой скважины с помощью эрлифтной установки в с. Баранчеевка, Спасского района, Пензенской области осуществлялась в 2 понижениях с дебитом скважины 10 м³/ч.

Пробно-эксплуатационная и опытная откачка являются самостоятельными операциями и проводятся

в основном при опробовании вновь вводимой в эксплуатацию скважины.

По результатам первой – выбирают оборудование для опытной откачки и определяют ее режим работы, по результатам второй – определяют дебит скважины, радиус влияния, связь с поверхностными и грунтовыми водами, смежными водоносными горизонтами и близрасположенными колодцами.

Откачки проводятся при 2...3 понижениях. Их продолжительность при соблюдении проектных данных технических условий и технологических требований не должны быть длительными (более 3 сут) даже при отборе воды из мелкозернистых песков.

Откачки, продолжающиеся более 3 сут, как правило, свидетельствуют о допущенных проектных или производственных ошибках во время бурения или восстановления колодца, о которых вкратце сказано выше. Отводимое некоторыми авторами время на откачку в 5...7 сут либо завышено, либо неоправданно ориентировано на разработку очень больших воронок (с помощью выпусков рабочих колонн в водоносный слой и несовершенных цементировок околотрубных кольцевых кровельных пространств).

На рис. 2 приведено схематическое геолого-техническое изображение конструкции бесфильтровой артезианской скважины в песчаном водоносном горизонте, пробуренной в 2015 г. для раствора-бетонного узла турецкой компании ООО «Озгюр Бетон» в селе Кижеватово, Бессоновского района Пензенской области. Производительность скважины 25 м³/ч. Общая глубина скважины 91 м. Кондуктор $d=325$ мм – 12 м. Рабочая колонна $d=219 \times 8$ мм – 71 м, глубина до водоноса 88 м, длина прокола 17 м.

Вскрытие кровли водоноса (прокол) производилось 3-шарошечным долотом $d=132$ мм, а вскрытие водоносного горизонта тем же буровым инструментом (врезка в песчаный пласт) на глубине до 3 м.

Разработка подкровельной водоприемной части осуществлялась обратной промывкой грязевым насосом НБ-32 через бурильные трубы с последующей прокачкой погружным насосом ЭЦВ. Вынос песка был незначительным, в основном пылеватые. Через сутки прокачки достигнуто полное осветление воды. В целях стабилизации параметров скважины откачка продолжалась до 3 сут в двух понижениях.

Выводы

1. Бесфильтровые скважины с водозабором из песчаных пород надежно работают без пескования, если обеспечена должная изоляция от вышерасположенных грунтовых и межпластовых вод. Многие сотни скважин функционируют по 25...35 лет без ремонта и дополнительных прокачек по удалению возможных песчаных отложений в водоприемных полостях и стволах колодцев.

2. Наличие прочной водоупорной кровли. Закрепление башмака эксплуатационной колонны не с выходом в водоносный слой, а в верхней части кровли, на глубине не более 25 % от ее мощности, разбуриваемой затем долотом с меньшим диаметром внутри обсадной колонны до водоносного горизонта с минимальной врезкой (2...3 м) в песчаный пласт.

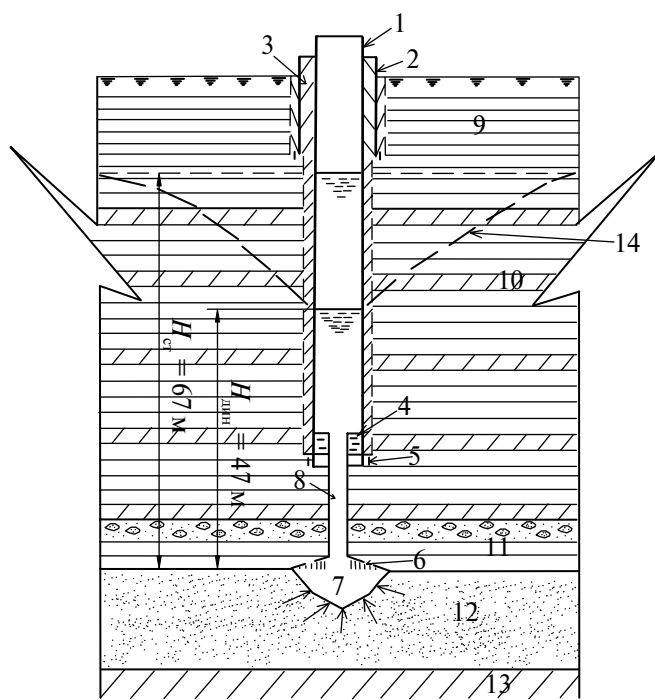


Рис. 2. Геолого-технический разрез бесфильтровой скважины в песчаном водоносном горизонте:

1 – эксплуатационная колонна; 2 – кондуктор; 3 – затрубная и межтрубная цементация; 4 – цементная пробка; 5 – башмак; 6 – зона деформации кровли; 7 – водоприемная полость (каверна); 8 – ствол прокола (без крепления); 9 – глина коричневая, плотная; 10 – глина с прослойками мергеля; 11 – песчаник с прослойками песка и глины; 12 – песок среднезернистый белый, водонос; 13 – подошва водоносного горизонта; 14 – депрессионная кривая

3. Наличие гидростатического напора, равного не менее 1/2 глубины скважины.

4. Производительность насосов в бесфильтровых скважинах должна быть на 15...20 % меньше дебита, установленного во время пробной откачки.

5. Создание стабильного режима работы насосно-силового агрегата установкой автоматической станции управления.

6. Размеры подкровельных водоприемных систем в скважинах, фильтрующая часть которых надежно изолирована от других водоносных горизонтов, незначительны и исчисляются, как правило, кубометрами, а не сотнями кубометров. В таких скважинах быстро достигается нормальный эксплуатационный режим с дебитом до 10 л/с и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водоснабжение из подземных источников / А.С. Ивушкин, И.М. Крышов, К.К. Кантеев, И.А. Калета. Пенза, 1995. С. 41–71, 175–183.
2. Дубровский В.В. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. М.: Недра, 1972. 378 с.
3. Максимов В.М. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. Ленинград: Недра, 1979. С. 201–205.
4. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. М.: Колос, 1980. Глава VI.
5. Ивушкин А.С. Опыт строительства бесфильтровых скважин // Гидротехника и мелиорация. 1967. № 4. С. 57–65.
6. Володин Ю.И. Основы бурения. М.: Недра, 1978. 308 с.

7. Методическое руководство по проектированию, сооружению и эксплуатации бесфильтровых скважин в песчаных породах. Минск: Полымя, 1981. 34 с.

8. Справочник по бурению скважин на воду / Д.Н. Башкатов, С.С. Сулашкин, С.Л. Драшлин, Г.П. Квашнин. М.: Недра, 1979. С. 472–473.

REFERENCES

1. Water supply from underground sources / A.S. Ivushkin, I.M. Krysgov, K.K. Kanteev, I.A. Kaleda. Penza, 1995. Pp. 41–71, 175–183.

2. Dubrovsky V.V. Handbook on drilling and equipping water wells. Moscow: Nedra, 1972, 378 p.

3. Maksimov V.M. Reference Manual for Hydrogeologists. Vol. 2. Leningrad: Nedra, 1979. Pp. 201–205.

4. Abramov S.K. Alekseev V.S. Water intake from an underground source. Moscow: Kolos, 1980. Chapter 7.

5. Ivushkin A.S. Experience in constructing filterless wells // Hydraulic engineering and melioration. 1967. No. 4. Pp. 57–65.

6. Volodin Yu.I. Fundamentals of Drilling. Moscow: Nedra, 1978. 308 p.

7. Methodological guidelines for the design, construction and operation of filterless wells in sandstone formations. Minsk: Polymya, 1981. 34 p.

8. Handbook on drilling water wells / D.N. Bashkatov, S.S. Sulashkin, S.L. Drakhlina, G.P. Kvashnin. Moscow: Nedra, 1979. Pp. 472–473.

Кантеев Камилль Касимович, инженер-гидротехник, ген. директор (ОАО «Пензаводмелиорация», г. Пенза, Россия).

100-ЛЕТИЕ МЕЛИОРАЦИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

4 декабря 2025 г. в актовом зале ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» состоялось торжественное совместное заседание Ученого совета ФГБНУ АФИ, ФГБУ «Управление «Севзапмелиоводхоз» и ветеранов мелиоративной отрасли, посвященное 100-летию со дня основания первой государственной мелиоративной организации Ленинградской области – «Мелиорация Ленинградской области: «Прошлое, настоящее, будущее».

В торжественном заседании приняли участие: депутат Государственной Думы РФ С.В. Яхнюк, представитель Комитета по природопользованию Санкт-Петербурга, ветераны мелиоративной отрасли, члены секции Ученого совета ФГБНУ АФИ и преподаватели высших образовательных учреждений – ФГБОУ ВО ПГУПС, СПбПУ и СПбГАУ; руководители и специалисты мелиоративных организаций: ФГБУ «Управление «Севзапмелиоводхоз», ООО «Ленводпроект», ООО «Мелиорация», ООО «Агротехпром», Бородинская ПМК-2, Мгинская ПМК-17, Новолодожская ПМК-18, Колтушская ПМК-6, Ломоносовская ПМК-12, Пригородная ПМК-8, Тосненская ПМК-7, Ленинградская ПМК-1, и ФГБУ «Управление «Калининградмелиоводхоз»; руководители сельскохозяйственных предприятий: СПК «Кобраловский», ООО «СПУТНИК», АО ПЗ «Петровский», СП «Предпортовый», АО «Племенной завод «Первомайский» и ООО «Осничевский».

Торжественное заседание было открыто словами приветствия к собравшимся ветеранам мелиорации, специалистам-мелиораторам, ученым и руководителям сельскохозяйственных предприятий – директором ФГБНУ АФИ, доктором биол. наук, член.-корр. РАН Юрием Валентиновичем Чесноковым.

С приветственным словом к участникам заседания обратился Сергей Васильевич Яхнюк, депутат Государственной Думы РФ. В своем приветствии он отметил высокие достижения мелиораторов Ленинградской области и рост агропромышленного комплекса страны.

Приветственный адрес от лица Правительства Ленинградской области – председателя Комитета по агропромышленному и рыбохозяйственному комплексу О.М. Малащенко, к собравшимся зачитал директор ФГБУ «Управление «Севзапмелиоводхоз» Андрей Эдуардович Решетов. В адресе отмечалось, что успешное функционирование АПК области обеспечивается проведением

мелиоративных мероприятий, поскольку более половины ее сельскохозяйственных угодий относится к мелиорированным землям. Слова благодарности прозвучали в адрес Управления «Севзапмелиоводхоз», Агрофизического института, ветеранов и работников отрасли с пожеланием дальнейшей плодотворной работы по введению в оборот новых земель, передачи ценного опыта новым поколениям мелиораторов. Отмечено, что создание в декабре 1925 г. конторы «Мелиострой» стало отправной точкой формирования целостной системы мелиорации Ленинградской области. За вековую историю отрасли прошла огромный путь от ручного труда и открытых каналов до современных технологий, комплексных проектов и масштабных государственных программ. Сегодня, благодаря преемственности поколений и профессионализму специалистов, мелиорация остается важным элементом продовольственной безопасности и устойчивого развития АПК Ленинградской области.

Участникам торжественного заседания представлен короткометражный документальный фильм об истории развития мелиорации в Ленинградской области. Сквозь эпохи представлены кадры от конного плуга и первых тракторов до многоковшовых экскаваторов, работающих на мелиоративном строительстве в Ленинградской области.

Тема становления мелиорации была продолжена в кратком докладе-презентации «Люди и технологии» заслуженного мелиоратора Российской Федерации Юрия Григорьевича Янко. В презентации представлено более 30 слайдов: сначала с мелиоративной техникой, работавшей на строительстве закрытого дренажа и даже в зимний период, а далее фотографиями рабочих и специалистов, работающих на объектах мелиоративного строительства с 70-х годов прошлого столетия и по настоящие дни. Завершал презентацию текст марша мелиораторов со словами Н. Ливанта и музыкой Р. Васильева.

В приветственной телеграмме Александра Васильевича Колганова, работавшего замминистром сельского хозяйства РФ в 90-е годы прошлого столетия, указывалось на достижения мелиорации Ленинградской области с пожеланием дальнейшего успеха.

В приветственном адресе от заслуженного мелиоратора РСФСР, главного редактора журнала «Мелиорация и водное хозяйство» Георгия Григорьевича Гулюка, содержались поздравления к ветеранам и специалистам

мелиоративной отрасли и пожелание успеха в дальнейшей работе.

В фильме «Вехи мелиорации Ленинградской области» представлена краткая история мелиорации: начиная с первых дней после Великой Отечественной войны и принятия знаменательного постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР 1966 г. о широком развитии мелиорации до настоящего времени. Показаны крупные водохозяйственные объекты вместе с системами орошения, обеспечивающие гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур в пригородных хозяйствах и технологии строительства дренажа.

Историческую справку «Из истории становления мелиорации в Ленинградской области» представил директор ФГБУ «Управление «Севзапмелиоводхоз» Андрей Эдуардович Решетов. Первые известные факты о проведении осушения на территории Ленинградской области относятся к работам на землях монастырей, а также работам по осушению полей способом профилирования финскими землепользователями на Карельском перешейке. Отмечена насущная проблема – наличие неиспользуемых земель, решение которой осуществляется по действующей программе вовлечения в оборот залежных земель. Затронуты актуальные вопросы закрепления межхозяйственной мелиоративной сети области. Представлены сведения о закрытой мелиоративной сети Ленинградской области, составляющей в настоящий момент 118 тыс. км.

С почетной миссией вручения грамот ветеранам выступил директор Управления А.Э. Решетов.

После завершения торжественной части директор Агрофизического НИИ Ю.В. Чесноков предоставил слово член-корр. РАН, руководителю секции по мелиорации Ученого совета АФИ Алексею Ивановичу Иванову для научного доклада: «Агромелиорация, как неотложное средство ведения земледелия в Ленинградской области». В докладе показаны значительные результаты, достигнутые при реализации программы развития сельского хозяйства в Нечерноземной зоне, принятой в 1974 г.

Обозначена роль осушения сельскохозяйственных угодий в Нечерноземной зоне РФ – это, прежде всего, сохранение урожая при его уборке, так как разница в биологической продуктивности угодий не так высока между осушаемыми и неосушаемыми землями. Обращено внимание слушателей на то, что в Ленинградской области не следует забывать и про орошение, эффективность которого может быть весьма значительна. В заключение доклада представлены разработки Агрофизического института: мелиоранты, технологии дистанционного обследования дренажа, технологии промывки дренажа и другие разработки.

Сергей Васильевич Яхнюк продолжил чествование ветеранов вручением грамот от лица Комитета Государственной Думы специалистам Управления «Севзапмелиоводхоз».

Что было, что есть и какие планы на будущее мелиорации с научной точки зрения

Первые мелиоративные системы в России построены в XVIII и начале XIX в. в пригородах Санкт-Петербурга. Одни из первых мелиоративных работ для сельско-

хозяйственного использования земель провел барон И.Ю. Фредерикс в 70-е годы XVIII в. в «Рябовой мызе» (в окрестностях г. Всеволожска). Осушенные земли засеивались озимой рожью. В 1802 г. было осушено болото площадью 1610 га в государевой Стрельнинской мызе. В период с 1817 по 1821 г. под руководством английского мастера Даниила Веллера в пригородах Санкт-Петер-



Фото с сайта ФГБНУ АФИ

бурга осушены болота «Шушары» (1100 га), «Охтинское», «Волковское», у Московской заставы (247 га). В 1894 г. при Министерстве земледелия и государственных имуществ создан Отдел земельных улучшений во главе с генералом от инфантерии И.И. Жилинским.

В 1902 г. принят первый в России водный закон «Правила об устройстве канав и других водопроводных сооружений на чужих землях осушительных, оросительных и обводнительных целей». Проведение мелиоративных работ сдерживалось отсутствием необходимых средств и в 1896 г. с утверждением «Временных правил о судах на сельскохозяйственные улучшения» введен Общеимперский мелиоративный кредит. Предреволюционный период (1909–1917 гг.) характеризуется активизацией интереса государства и общественности к мелиорации.

В 1913 г. начал выходить «Мелиорационный журнал», в котором освещались мероприятия земств и государства по мелиорации, практике и прикладным знаниям по мелиорации.

В 1921 г. при Наркомземе образуется управление водного хозяйства и мелиораций, в феврале 1922 г. при Петроградском губернском земельном управлении создается отдел мелиорации и государственного имущества.

Практически одновременно в стране для разработки необходимых научно обоснованных технических решений в области мелиорации создаются научно-исследовательские и проектные организации. Так, в 1921 г. создается Ленинградская областная опытно-мелиоративная станция, которая в 1935 г. преобразована в Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (СевНИИГиМ), а в 1929 г. – Государственный институт по проектированию гидротехнических и водохозяйственных сооружений, который после многочисленных преобразований и слияния с проектной группой треста Мелиоводстрой (1949 г.) становится ведущим проектным институтом в области мелиоративного и водохозяйственного проектирования РСФСР (институт «Ленгипроводхоз»). В период 20–30-х годов создается основа научно-методического обеспечения мелиорации. Для широкого круга «колхозного и совхозного актива» научным сотрудником СевНИИГиМа Н.Я. Шерстобоевым в 1932 г. подготовлена и издана «Рабочая книга по осушительной мелиорации», в которой в очень простой и доступной форме даются основы создания и эксплуатации осушительных систем.

В декабре 1925 г. при земельном управлении создается контора по мелиоративному строительству «Мелиострой». С этого времени, независимо от последующих многочисленных структурных преобразований, в Ленинградской области функционирует государственная система управления мелиоративными организациями. В это время делались первые шаги по осушению земель, крестьяне объединялись в мелиоративные товарищества и совместными силами вручную или на конной тяге выполняли работы.

ВЧЕРА. Выполняя решения Пленума ЦК КПСС 1966 г. о развитии сельского хозяйства СССР проведены работы по мелиорации земель Ленинградской области, практически во всех районах. Так, уже в 1970 г. введено в эксплуатацию 22,2 тыс. га осушенных зе-

мель, в 1971 г. – 25,5, в 1972 г. – 26 тыс. га. Кроме осушения в ряде районов на больших площадях выполняются культуртехнические работы, которая в отдельные годы превышала 10...12 тыс. га. Необходимость столь значительных объемов мелиорации диктовалась очень интенсивным развитием сельского хозяйства, а также расширением в 1969–1970 гг. городских границ Ленинграда и соответственно переводом сельскохозяйственного производства на другие земли. Для компенсации изымаемых земель приходилось осваивать новые.

Происходит интенсивное насыщение ПМК современной техникой, на смену С-80 приходят более мощные Т-108, а затем и Т-130. Увеличивается парк одноковшовых экскаваторов и дреноукладчиков.

К 1980 г. парк мелиоративной техники Ленмелиорации составлял:

- машины на базе тяжелых гусеничных тракторов Т-130 (Т-160) – 933 шт.;
- машины на базе гусеничных тракторов Т-74, ДТ-75 – 471 шт.;
- колесные тракторы К-700, 701 – 169 шт.;
- одноковшовые гусеничные экскаваторы – 209 шт.;
- дреноукладчики многоковшовые ЭТЦ-202 – 142 шт.
- дренопромывочные машины – 36 шт.

Таким мелиоративным парком машин выполнялись весьма значительные объемы работ. Годовые объемы экскавации составляли 10,5...13,5 млн м³, укладывалось 6300...7400 км закрытого трубчатого керамического дренажа. Для обработки сельскохозяйственных земель ПМК объединения «Ленмелиорация» располагали значительным количеством различных бульдозерных корчевателей, отвалов, кусторезов, корчевальных борон, отвальных и дисковых плугов, профильных ковшей, планировщиков и другой специальной мелиоративной техники.

Доля мелиорированных земель Ленинградской области, включая территорию г. Санкт-Петербурга, относящихся ко всем сельскохозяйственным землям региона составляет около 60%. Это одно из наиболее высоких процентных соотношений между общей площадью сельскохозяйственных земель и площадью мелиорируемых земель в Российской Федерации. Если же учесть географическое положение Ленинградской области, находящейся в зоне рискованного землевладения и необходимость обеспечения сельскохозяйственной продукцией второго по численности населения города страны, то ее следует признать самой уникальной в России. Таким образом, понятна важность постоянного наблюдения за состоянием осушительных мелиоративных систем в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Всего за несколько лет мелиоративное состояние значительной части осушаемых и орошаемых земель Ленинградской области резко ухудшилось. Если в 1990 г. доля земель, нуждающихся в дополнительных мелиоративных мероприятиях, составляла не более 8%, включая земли неудовлетворительного мелиоративного состояния, то уже к 1996 г. она выросла до 50% и примерно такие цифры технического состояния остаются и сегодня.

Сегодня и ЗАВТРА. В 2025 г. сумма поддержки на мелиоративные мероприятия увеличена на 160,6 млн рублей и составила 469 млн рублей.

В 2025 г. планировалось ввести в оборот за счет культуртехнических мероприятий не менее 3,8 тыс. га земель, провести гидромелиоративные мероприятия на площади 3,4 тыс. га, а также мероприятия по химической мелиорации на площади 1,6 тыс. га.

На 2025 г. в конкурсном отборе Минсельхоза России одобрение получили все проекты мелиорации Ле-

нинградской области, просубсидированы 23 проекта мелиорации на общую сумму 331,5 млн рублей, в том числе 168,2 млн рублей из федерального бюджета.

Янко Юрий Григорьевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, yaniko@agrophys.ru (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия).

ВолжНИИГиМ: 60 ЛЕТ НА СЛУЖБЕ МЕЛИОРАЦИИ ПОВОЛЖЬЯ

Обеспечение продовольственной безопасности в условиях меняющегося климата является серьезным вызовом XXI в. Для засушливого Поволжья, как одного из важнейших аграрных регионов России, данная проблема стоит особенно остро. Именно в зоне рискованного земледелия, где дефицит влаги испокон веков диктовал свои суровые законы, формируется объем четверти урожая зерновых и других видов сельскохозяйственных культур.

Стремление снизить риски засухи предопределило решение о развертывании в середине 1960-х годов на территории Саратовской области мелиоративного строительства. В степях Саратовского Заволжья началось сооружение оросительно-обводнительного канала, а вслед за ним Энгельсской оросительной системы, Духовницкой и Балаковской оросительных систем. Начали свою работу Саратовский, Ерусланский и Межузенский каналы. Только по Саратовской области в эксплуатацию введено 453,9 тыс. га регулярного орошения и 34 тыс. га инженерно обустроенных лиманов. Эти земли в итоге обеспечивали производство до 50% кормов для сельскохозяйственных животных и до 100% овощной продукции региона.

Для научного обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем, разработки методов эффективного использования орошаемых земель в 1966 г. на базе Энгельсской опытно-мелиоративной станции создан Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (ВолжНИИГиМ). Главной задачей института стало научное обоснование широкого ирригационного строительства на площади более 1,5 млн га в Куйбышевской, Саратовской, Волгоградской, Астраханской, Уральской областях и Калмыцкой АССР.

Основными направлениями научной деятельности института стали разработка совершенных конструкций оросительных систем, механизация и автоматизация полива, создание эффективных режимов орошения сельскохозяйственных культур и активное внедрение достижений науки в производство. Возглавил институт и руководил им до 1970 г. заслуженный мелиоратор РСФСР, кандидат технических наук Иван Степанович Костин. Значительный вклад в развитие учреждения внес заслуженный мелиоратор РСФСР, кандидат экономических наук Иван Акимович Божко, возглавлявший институт с 1970 по 1988 г. Организацию исследовательских работ и внедрение их результатов в производство осуществляли заместители директора по науке: заслуженный изобретатель РСФСР, кандидат технических наук Н.П. Яковлев, кандидат геолого-минералогических наук Б.И. Костин, кандидаты сельскохозяйственных наук А.И. Безменов и В.К. Турулев.

В те годы коллектив взялся за титаническую работу. Нужно было не просто понять, как орошать, но и как не навредить почве. Результатом стало инженерно-мелиоративное районирование Поволжья. Учеными определено, где нужен дренаж, где лучше строить каналы, а где применять особую технику полива. Одновременно с этим ученые института впервые изучили подземные горизонты, чтобы на десятилетия вперед предотвратить угрозу вторичного засоления почв. Это была не просто теория, а комплексная работа по формированию «карты» будущего плодородия.

Рост объемов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ сопровождался наращиванием кадрового потенциала. Если в день организации в институте и его опорной сети работало 166 человек, то через два года научно-технический персонал вырос до 245 человек, а к 1986 г. составлял уже 689 сотрудников, среди которых 2 доктора и 66 кандидатов наук. В лабораториях кипела работа. Лизиметрические исследования позволили точно рассчитать, сколько воды нужно различным сельскохозяйственным культурам, выращиваемым в специфических природно-климатических условиях региона.

Шло время, и с годами институт претерпел ряд реорганизаций. В 1989 г. на его базе создано научно-производственное объединение. В 1996 г. ВолжНИИГиМ преобразован в государственное учреждение, а в октябре 2002 г. – в Федеральное государственное научное учреждение. Сегодня институт работает в статусе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»), сохраняя и приумножая традиции, заложенные полвека назад.

Оглядываясь назад, можно смело утверждать, что фундамент будущих достижений закладывался именно в те годы, когда институт только набирал силу. Пик конструкторской мысли пришелся на 80–90-е годы. В те годы в поля Поволжья пришли первые широкозахватные дождевальные машины. Именно местные ученые взяли руководство над их эксплуатацией и модернизацией. Под руководством В.И. Шигаева проведено обоснование рационального использования и необходимости организации инженерной службы эксплуатации новой техники. За внедрение широкозахватных дождевальных машин в Поволжье он удостоен премии Совета Министров СССР.

Развивая тему совершенствования дождевальной техники, ученые института разработали технологию поверхностного полива. Специальный агрегат, созданный на базе серийной машины, позволял подавать воду не вверх, разбрызгивая ее на ветер, а вниз, мягко орошая почву. Это позволило эффективно расходовать во-

дные ресурсы, доставляя ее прямо к корням. За создание и освоение этого агрегата коллектив ВолжНИИГиМ удостоен премии Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и ЦК Профсоюза СССР.

В русле стремительного развития кибернетики и вычислительной техники в стране, ученые института обратились к цифровым методам моделирования для управления производственным процессом сельскохозяйственных культур, позволяющим просчитывать, как будет развиваться растение в зависимости от погоды, влажности и удобрений. Большой вклад в это направление внесли к.э.н. И.А. Божко, д.с.-х.н. В.А. Шадских и д.с.-х.н. Н.А. Пронько. Разработанная технология управления процессом роста и развития сельскохозяйственных культур внедрена на орошаемых землях Саратовской и Астраханской областей на площади свыше 100 тыс. га.

На смену эпохе научных прорывов пришли годы экономических испытаний. Оросительные системы устаревали, импортная техника стала слишком дорогой, а западные санкции сделали ее и вовсе недоступной. Когда стало ясно, что сотни «Фрегатов», построенных еще в 80-х, выработали ресурс, ученые не стали списывать их в утиль. Они предложили модернизацию. Так родился реверсивный вариант ДМ, способный двигаться по полю челночным ходом. Это позволило фермерам под одной машиной выращивать разные культуры. Технология приповерхностного полива получила второе рождение, сократив потери влаги и подняв эффективность орошения на качественно новый уровень.

Большие усилия института сосредоточены на решении задач импортозамещения и устойчивого обеспечения продовольственной безопасности страны. Именно здесь, в партнерстве с ведущими заводами-изготовителями («БСГ», «Осанна», «АгроТехСервис» и других) налажен серийный выпуск надежных отечественных широкозахватных машин – «Каскад», «Волга ФК1» и «Кубань», которые сегодня работают на полях нашей страны, заменяя импортные аналоги.

Гордостью инженерной мысли стала собственная дождевальная машина «Волга-СМ». В ней удалось совместить современные материалы (легкий полиэтилен вместо тяжелого металла) и цифровые технологии (блок управления, доступный через мобильную связь). Под руководством д.т.н. Н.Ф. Рыжко разработка получила Национальную премию в области импортозамещения «Приоритет-2015» в номинации «Сельское хозяйство». Сегодня ее серийно производят в Саратовской области, а вслед за ней появилось и семейство ферменных машин «Волга-ФК», которые стали еще более легкими, надежными и полностью российскими.

Цифровой тренд не обошел стороной мелиорацию. Ученые института разработали интеллектуальные системы управляемого полива, где «умные» блоки управления в режиме реального времени следят за капризами погоды, экономя каждый литр воды. Уникальная разработка «Универсальный укладчик-сборщик капельной ленты УСКЛП-1,5» стала важнейшим инструментом климатически оптимизированного сельского хозяйства для фермеров.

Сегодня институт активно занимается совершенствованием нормативно-методической базы мелиоратив-

ного комплекса. Разрабатываются проекты национальных стандартов ГОСТ Р, направленные на оценку технического состояния мелиоративных систем и сооружений, мониторинг их безопасности и обоснование объемов ремонтных работ от проектирования до эксплуатации.

Параллельно с дождевальной техникой в ВолжНИИГиМ развивается направление создания адаптивных биологизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на орошении. В последние годы ученые активно занялись соей. Эта культура является настоящим кладом белка и основой импортозамещения в животноводстве. На опытных полях института прошли испытания 42 сортов сои из разных регионов России и зарубежья, включая перспективные белорусские сорта «Припять», «Оресса» и «Волма». На основе проведенных исследований учеными отобраны лучшие сорта, подобраны эффективные штаммы азотфиксирующих бактерий и разработаны технологии, обеспечивающие стабильные урожаи даже в засушливые годы. Одновременно ведутся работы и по организации пастбищ, устойчивых в долгосрочной перспективе. Многокомпонентные смеси трав с участием козлятника восточного позволили животноводам снизить дефицит кормов, что является фактором повышения продуктивности скота, снижения себестоимости животноводческой продукции, уменьшения зависимости от внешних поставок молочного и мясного сырья.

Чтобы справиться с таким объемом задач, институт выстроил научно-организационную структуру. Сегодня научный поиск ВолжНИИГиМ ведется по трем основным направлениям. Отдел оросительных систем и гидротехнических сооружений отвечает за надежность и безопасность водной инфраструктуры: от совершенствования конструкций каналов до разработки документов, гарантирующих безаварийную работу ГТС. Отдел комплексной мелиорации и экологии вместе с лабораторией агрохимических анализов занимаются главным – почвой и растениями. Здесь создают технологии возделывания культур на орошаемых землях, подбирают сорта, следят за здоровьем почв и ищут баланс между высокой урожайностью и экологической безопасностью. Отдел модернизации технических средств и технологии полива вместе с сектором конструкторских технологий и рыбозащитных сооружений являются генераторами технических мыслей. А воплотить идеи в жизнь помогает экспериментальная мастерская, где создаются опытные образцы будущей серийной техники.

За 60 лет кузница кадров ВолжНИИГиМ воспитала целую плеяду ученых. Аспирантуру здесь окончили 81 человек, из которых 62 стали кандидатами наук, 7 получили докторскую степень. За плечами коллектива 523 научно-исследовательских работы, 31 сборник трудов, 244 рекомендации и нормативов, более двух тысяч научных статей и 348 патентов и авторских свидетельств. Достижения ученых покоряли всероссийские и международные выставки, форумы. Сотрудники института регулярно участвуют в совместных научных семинарах с другими институтами и профильными ВУЗами, являются частыми гостями научно-практических конференций. Десятки дипломов и 112 медалей главной выставочной пло-

щадки страны, в том числе российской агропромышленной выставки «Золотая осень» – лучшее подтверждение тому, что волжская школа мелиорации хорошо известна и по праву признана в научной среде в России.

Сегодня перед коллективом ВолжНИИГиМ стоят задачи, продиктованные временем. Это повышение надежности оросительных систем и гидротехнических сооружений, эффективное использование каждого гектара орошаемой земли и, что особенно важно, обеспечение инвестиционной привлекательности отрасли. Направления работы института органично вписываются в канву государственной политики («Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», «Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса» и др.), а также учитывает реальные запросы производства.

Решая текущие задачи, коллектив института не упускает из виду и долгосрочную перспективу. Одно из центральных мест занимает сегодня экологическая повестка. Разработка мероприятий по борьбе с опустыниванием и модернизации систем лиманного орошения в Саратовском Заволжье призвана не только повысить продуктивность угодий, но и предотвратить необратимые процессы деградации земель, сохранив их для будущих поколений. Так, в Новоузенском районе Саратовской области начались работы по усовершенствованию лиманного орошения. Ученые намерены реконструировать старые системы, чтобы уникальные заливные луга снова стали основой кормовой базы и надежным щитом от опустынивания.

Экологическая повестка закономерно расширяет и географию присутствия института. Опыт волжских ученых сегодня востребован далеко за пределами Поволжья. Специалисты ВолжНИИГиМ начали осуществлять работы по проектированию и обследованию гидротехнических сооружений на новых российских территориях, а также в регионах УрФО и Ставрополья.

Закономерно выходит на новый уровень и международное сотрудничество. Реализуются совместные про-

екты с Республикой Беларусь по испытаниям и семеноводству перспективных сортов сои. Вместе с коллегами из Казахстана запущен большой проект по обустройству орошаемых полей в Западно-Казахстанской области. Десять новых машин «Каскад» подготовлены к отправке, и наши ученые будут сопровождать проект – от предпроектного обследования полей до первого полива.

И наконец, базовая инвестиция в будущее – это подготовка кадров. Сегодня в Саратовском регионе выстроена и устойчиво работает система целевого обучения по принципу вуз–НИИ–предприятие, которая позволяет готовить специалистов, с первых дней знакомых с реальным производством и способных решать самые сложные задачи. ВолжНИИГиМ подписаны соглашения с ведущими аграрными вузами. Студенты-гидротехники и агрономы проходят практику в стенах института и на опытных полях, перенимая знания у тех, кто создавал и развивает современную мелиорацию.

Параллельно с решением научных и производственных задач коллектив института не забывает о главном – о людях. О тех, кто сегодня отстаивает будущее нашей страны. Коллектив ВолжНИИГиМ активно участвует в поддержке соотечественников, находящихся в зоне специальной военной операции. Сотрудники института совместно с Энгельским отделением ВООВ «Боевое братство» и партнерами (ООО «Осанна», «СТОКС», «Завод СПЕЦМАШ», «МИКПРОМ», и др.) неоднократно принимали участие в гуманитарных миссиях, демонстрируя единство и сплоченность. За эти инициативы коллектив ВолжНИИГиМ отмечен благодарственными письмами от командования частей.

Шесть десятилетий – это срок, за которым стоят тысячи спасенных от засухи гектаров, сотни научных трудов и несколько поколений ученых. Но для ВолжНИИГиМ – это не столько подведение итогов, сколько очередной рубеж, за которым открываются новые горизонты. Горизонты, где фундаментальная наука и современные технологии продолжают работать на укрепление продовольственной независимости России и процветание ее аграрного будущего.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

Оформить подписку на журнал можно в почтовых отделениях связи.

Индекс журнала в каталоге ОАО Агентства «Роспечать» – 70508

Подписаться на журнал можно через ГК «Урал-Пресс», а также через редакцию.

Для оформления подписки через редакцию нужно сделать заказ по электронной почте: mivh@mail.ru.

В заказе следует указать:

- полное название организации (для юридического лица) или ФИО (для физического лица);
- сколько экземпляров каждого номера Вам необходимо;
- точный почтовый адрес (с обязательным указанием почтового индекса);
- контактные телефоны, факс, электронный адрес (для отправки счета);
- для юридических лиц – реквизиты для оформления бухгалтерских документов (ИНН, КПП, юридический адрес).

После получения заказа Вам будет выслан счет, оплатив который Вы получите по почте заказанные экземпляры (по мере их выхода из печати или вышедшие ранее). По желанию подписчика возможно получение журналов в редакции.

Телефон для справок: +7(499) 976–48–39.