

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 627.514.6

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332

Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений

Игорь Александрович Приходько¹, Михаил Александрович Бандурин²,
Виктор Алексеевич Волосухин³, Артем Анатольевич Руденко⁴

^{1, 2, 3, 4}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация

¹prihodkoigor2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>

²chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

³director@ibgts.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>

⁴away704@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8724-6980>

Аннотация. Цель: исследование работоспособности гидротехнических сооружений инженерной защиты Нижней Кубани, базирующееся на оценке технического состояния с помощью приборов неразрушающего контроля. **Материалы и методы.** Исследования проводились на различных сооружениях, учитывались условия формирования средоулучшающего потенциала территории юга России на примере Краснодарского края. Полевые исследования и натурные испытания проведены согласно методикам Кубанского государственного аграрного университета. Выполнены исследования системы инженерной защиты с использованием приборов неразрушающего контроля, они позволили получить наиболее полную и точную информацию о пространственном объекте, в отдельных реперных створах определялись физико-механические и фильтрационные свойства грунтов традиционными методами. **Результаты.** Установлено, что на дамбах обвалования инженерной защиты фильтрационные свойства слагающих их грунтов зависят от степени их уплотнения, состава насыпных грунтов и образования трещин усыхания. Обследование приборами неразрушающего контроля выполнялось с помощью георадара. Определена стальная арматура по годографам рефрагированных волн высокой амплитуды. Установлены размеры трещин по нарушению амплитудной корреляции отражений. При проведении электроразведочных работ на грунтовой низконапорной дамбе обвалования применялся метод вертикального электрического зондирования. В результате обработки данных и интерпретации получены геоэлектрические разрезы удельного электрического сопротивления грунтов. **Выводы.** Основными причинами роста ущерба от наводнений являются социально-экономические причины, проявляющиеся в активном и в то же время нерациональном использовании паводкоопасных территорий. Результаты исследований подтверждают эффективность, производительность и информативность применявшихся геофизических методов при относительно небольших затратах.

Ключевые слова: наводнения, система обвалования, низконапорная земляная плотина, климатические изменения, дефицит оросительной воды

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.

Для цитирования: Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений /

И. А. Приходько, М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, А. А. Руденко // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 317–332. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Critical analysis of the engineering protection of the Lower Kuban under the conditions of irrigation water increasing shortage due to climate change

Igor A. Prikhodko¹, Mikhail A. Bandurin², Viktor A. Volosukhin³, Artem A. Rudenko⁴

^{1, 2, 3, 4}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹prihodkoigor2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>

²chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

³director@ibgts.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9029-7802>

⁴away704@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8724-6980>

Abstract. Purpose: to study the performance of hydraulic structures of engineering protection of the Lower Kuban, based on the technical condition assessment using non-destructive gauges. **Materials and methods.** The studies were carried out on various structures, taking into account the conditions for the formation of environment improving potential in the territory of southern Russia, using the example of Krasnodar Territory. Field studies and field tests were carried out according to the methods of Kuban State Agrarian University. The studies of the engineering protection system using a complex of non-destructive gauges which made it possible to get the most complete and accurate information about a spatial object, have been carried out, the physical-mechanical and filtration properties of soils were determined in individual reference sections by traditional methods. **Results.** It has been determined that on engineering protection embankments, the filtration properties of composed ground depend on the degree of their compaction, the composition of bulk soils and the formation of drying cracks. The survey with non-destructive gauges was carried out using a georadar. The steel reinforcement by the hodographs of high-amplitude refracted waves was determined. The dimensions of the cracks by the violation of the amplitude reflection tracking were determined. When carrying out electrical exploration work on an earth low-pressure levee, the method of vertical electrical sounding was used. As a result of data processing and interpretation, the geoelectric sections of specific soil resistance were obtained. **Conclusions.**–The main reasons for the flood damage increase are socio-economic reasons, manifested in the active and at the same time irrational use of flood-prone areas. Results of the study confirm the effectiveness, productivity and information value of applicable geophysical methods at relatively low cost.

Key words: floods, levee synodic, low-pressure earth dam, climate change, irrigation water deficit

Funding: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation No. 22-17-20001.

For citation: Prikhodko I. A., Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Rudenko A. A. Critical analysis of the engineering protection of the Lower Kuban under the conditions of irrigation water increasing shortage due to climate change. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):317–332. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332>.

Введение. Систему инженерной защиты Нижней Кубани и р. Протоки начали вводить в эксплуатацию со второй половины XIX в. Она была

построена для защиты от постоянных наводнений более 600 тыс. га территории Краснодарского края, из них только 400 тыс. га – это сельскохозяйственные угодья. Система должна обеспечивать защиту от летних и зимних наводнений по р. Кубани около 90 сельских населенных пунктов, где проживает в настоящее время более 420 тыс. населения, объектов экономики, более 500 агропромышленных объектов [1].

Общая длина дамб обвалования системы инженерной защиты от Краснодарского водохранилища до устьев рек составляет 650 км. Класс капитальности сооружений системы – III. Районы расположения системы обвалования р. Кубани и Протоки относятся к зонам с сейсмичностью 7–8 баллов [2].

Климат юга России с короткой зимой и продолжительным жарким летом формируется под воздействием комплекса физико-географических условий, из которых наиболее важными являются широта местности, циркуляция атмосферы и подстилающая поверхность.

Территория Нижней Кубани и прилегающая акватория характеризуются умеренно континентальным климатом. На территорию Краснодарского края и Республики Адыгеи проникают холодные воздушные массы из Средней Азии и теплые воздушные массы из Малой Азии. Расположение Кубано-Приазовской низменности по широте обуславливает интенсивный приток солнечной радиации, так, в течение практически всего года радиационный баланс остается положительным, только летом превышает норму. Смягчающее влияние на режимы возделывания сельскохозяйственных культур оказывают омывающие воды Черного и Азовского морей. Наименьшее количество осадков – в равнинной части Краснодарского края и Республики Адыгеи. Ближе к предгорьям Большого Кавказского хребта количество осадков увеличивается [3].

Объем твердого стока р. Кубани за последние 40 лет составляет более 8,7 млн т, 29 % его оседает в пределах дельты р. Кубани, а 71 % выно-

сится течением реки в акваторию Азовского моря за дельту. Такое распределение твердого стока приводит к постоянному увеличению отметок русел рек и постоянным приращениям площади дельты р. Кубани. В этих условиях необходимо постоянно реконструировать или совершенствовать, а при аварийных ситуациях оперативно ремонтировать противопаводковые сооружения, дамбы обвалования системы инженерной защиты в бассейне р. Кубани [4].

Наводнения являлись естественным сдерживающим фактором хозяйственного освоения пойменных территорий Краснодарского края и Республики Адыгеи до тех пор, пока под воздействием социальных и экономических факторов не были выработаны методики оценки риска возникновения разрушительных наводнений [5]. Основными факторами, определяющими формирование стока рек на территории Краснодарского края и Республики Адыгеи, являются климатические, они определяют общий характер распределения годового стока в Кубано-Приазовской низменности – режим рек.

Материал и методы. Выполненные обследования дамб обвалования системы инженерной защиты с использованием комплекса инженерного оборудования (приборов неразрушающего контроля) [6, 7]: геодезического спутникового оборудования, навигационного оборудования GPS, геофизического оборудования (комплекс «Око-2М» для георадиолокационных исследований, комплекс Era-Max для электроразведки), наземных лазерных сканеров, позволили получить наиболее полную и точную информацию о пространственном объекте, в отдельных реперных створах определялись физико-механические и фильтрационные свойства грунтов традиционными методами [8], а также численными методами рассчитывалась устойчивость дамб обвалования [9].

Для решения проблем водохозяйственного комплекса бассейна Нижней Кубани предлагается оптимизация аварийно-восстановленных работ

на противопаводковых сооружениях [10]. При зонировании сельскохозяйственных земель обеспеченности уровней целесообразно определять с учетом только максимальных уровней за период вегетации. Для селитебных территорий при высоких скоростях потока границы зон целесообразно устанавливать на 0,3 м ниже указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Предлагаемая классификация зон риска затопления

Table 1 – Proposed classification of flood risk areas

Зона	Степень риска	Для сельскохозяйственных земель		Для селитебных территорий	
		Нижняя граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Верхняя граница
A	Высокая	Бровки русла	Уровень 10% обеспеченности	Бровки русла	Уровень 10% обеспеченности или на 1,0 м ниже уровня 1%
B	Умеренная	Уровень 10% обеспеченности	Уровень 1% обеспеченности	Уровень 10% обеспеченности или на 1,0 м ниже уровня 1% обеспеченности	Уровень 1% обеспеченности
C	Низкая	Уровень 1% обеспеченности	—	Уровень 1% обеспеченности	—
D	Неопределенная	В границах возможного затопления склоновыми водами		В границах возможного затопления склоновыми водами и при авариях ливневой канализации	
E	Аварийная	—	Уровень гребня дамб	—	Уровень гребня дамб

Учение В. В. Докучаева о зональности трактует каждую природную зону как закономерный природный комплекс, где живая и неживая природа тесно связаны между собой и взаимообусловлены [11–13].

В проведенном исследовании концептуально рассмотрены вопросы государственного регулирования противопаводковых мероприятий и их экономический механизм, а также разработаны предложения по нормативно-правовому обеспечению мероприятий по защите от наводнений.

Гидрологическая зональность – это отражение природной зональности, поскольку воды являются неотъемлемым элементом любого природного комплекса. Сложность организации современной, эффективной инженерной защиты от постоянных наводнений обусловлена противоречия-

ми, заключенными в основных целях, поскольку при попытках уменьшить ущерб только от часто повторяющихся наводнений возникают технические условия для возрастания ущерба от возможных катастрофических наводнений. Поэтому необходимо для достижения поставленных основных целей осуществлять комплексный, взаимосвязанный, постоянный мониторинг [14] как отдельных объектов, так и всей системы инженерной защиты в целом.

Результаты и обсуждение. В геологическом строении берегов р. Кубани и Протоки принимают участие голоценовые и плейстоценовые отложения, которые характеризуются четко выраженным двухслойным строением. Верхняя часть этих отложений аллювиальная, представлена желто-бурыми и бурыми глинами и суглинками, в которых заключены прослои песков разной зернистости и супесей. Легкие грунты в основном тяготеют к основанию аллювиальной толщи, а иногда отмечаются в виде переслаивания с более тяжелыми грунтами.

В связи с постоянным меандрированием русла р. Кубани, периодическими поднятиями и опусканиями Западно-Кубанского структурного массива в постплиоценовое время на отдельных интервалах русла происходило чередование аллювиальных и аллювиально-лиманных образований. Строение берегов р. Кубани и Протоки на изученных участках отличается пестротой литологических разностей и большой изменчивостью по мощности и простираию.

Выполненными исследованиями на дамбах обвалования системы инженерной защиты берегов р. Кубани и Протоки выявлено, что фильтрационные свойства слагающих их грунтов зависят от степени их уплотнения, состава насыпных грунтов и образования трещин усыхания [15, 16].

Слежавшиеся со временем грунты старых дамб обвалования системы инженерной защиты в большинстве случаев сравнительно однородны по составу, в них обычно отсутствуют комковатость и пустоты, примерно такими

же являются грунты дамб, только введенных в эксплуатацию и хорошо уплотненных в процессе возведения. Коэффициенты фильтрации этих грунтов мало отличаются от таковых в условиях их естественного залегания. Результаты подавляющего большинства проведенных опытных наливов в шурфы показывают коэффициенты фильтрации от 0,02 до 0,85 м/сут, причем наблюдается небольшое снижение фильтрационных свойств грунтов с глубиной.

Однако на некоторых участках опыты в пределах верхних частей дамб до глубины 1,0–1,5 м показали весьма высокие коэффициенты фильтрации грунтов от 2,0 до 8,6 м/сут, и даже до 18,9 м/сут. Такую высокую проницаемость грунтов можно объяснить наличием здесь трещин усыхания, ходами червей и землероев (кротовин), а также корнеходами.

Коэффициенты фильтрации грунтов, залегающих в основании дамб обвалования, ориентировочно можно оценить по материалам ранее выполненных изыскательских работ. Для различных грунтов коэффициенты фильтрации составляют: глины и суглинки желто-бурые – 0,44 м/сут, суглинки легкие и супеси – 0,70 м/сут, песок пылеватый и мелкий – от 3,5 м/сут в низовьях р. Кубани до 10 м/сут в районе г. Краснодара, песок средней крупности – от 5 до 15 м/сут, глины иловатые и илы – 0,04 м/сут, глины и суглинки – до 0,30 м/сут.

Плотность насыпных грунтов в теле существующих дамб на основании проведенных ранее исследований в основном меньше максимальной и в среднем равна 1,40–1,50 г/см³.

Обследование приборами неразрушающего контроля выполнялось с помощью георадара. Фрагмент профиля № 17 пересекает грунтовую плотину перпендикулярно, начинается от уреза воды, протяженностью 47 м, он отработан антенной АБ-400 по всей протяженности, антенна АБ-1700 использовалась на первом участке при обследовании плит крепления верхового откоса. На рисунке 1 изображена радарограмма по профилю № 17

с использованием антенны АБ-1700 (максимальная глубина исследования сухих грунтов 1–2 м). Глубинность исследования составила не более 0,4 м.

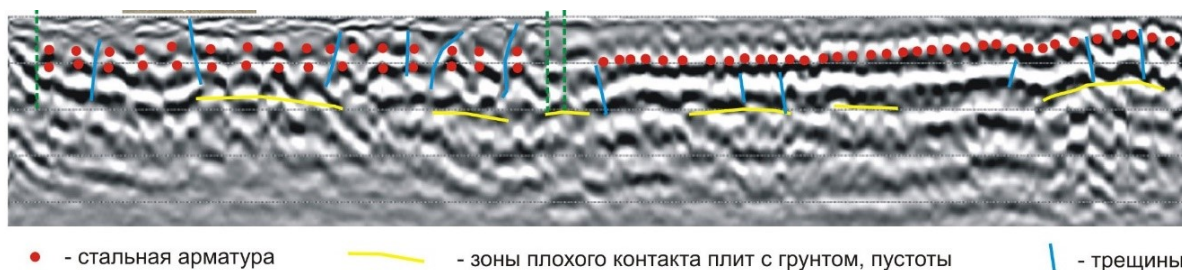


Рисунок 1 – Фрагмент профиля № 17
Figure 1 – Profile fragment no. 17

На фрагменте радарограммы выделены следующие объекты:

- стальная арматура. Определена по годографам рефрагированных волн высокой амплитуды. Отражения четко видны без применения обработки;
- трещины, выделены по нарушению амплитудной корреляции отражений;
- зоны плохого контакта с грунтом, проявляются как яркие отражения со скоростью волн 30 см/нс, что соответствует скорости электромагнитной волны в воздухе. Корреляционная прослеживаемость не наблюдается. После отражений рефрагированных волн наблюдается поле слабых отражений, что говорит об однородности среды, т. е. наличии пустот в подплитном пространстве;
- стыки плит выделяются так же, как и трещины, но с более резкими и прямолинейными границами;
- отмечено увеличение увлажнения плит при приближении к уровню воды, о чем говорит рост диэлектрической проницаемости от 4–6 (сухой бетон) до 11–18.

Фрагмент радарограммы № 19 с использованием антенны АБ-400 (максимальная глубина исследования сухих грунтов 4–5 м) изображен на рисунке 2. Максимальная глубина исследования составила 3,5 м.

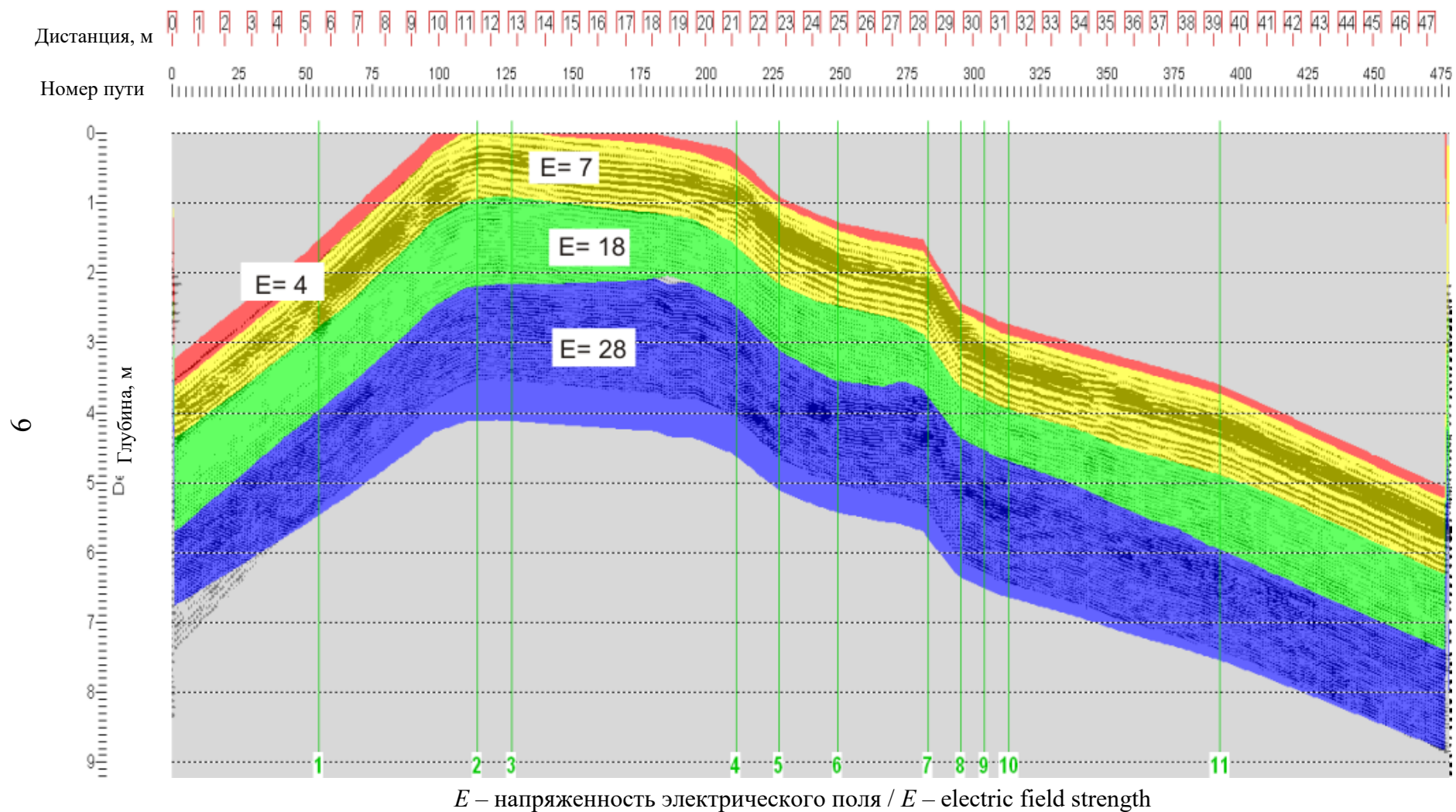


Рисунок 2 – Фрагмент профиля № 19

Figure 2 – Profile fragment no. 19

Следует отметить, что при выполнении георадиолокационных исследований на таких грунтах, как глины и суглинки, границы выделяются преимущественно по степени увлажнения. В нашем случае вода высоко минерализована и фильтрация значительно уменьшила электрическое сопротивление грунтов, поэтому расчленение литологического состава возможно лишь на основные литологические разности. И как показывает практика, при влажности грунта более 20–30 %, высокой минерализации грунтов, относительно низком сопротивлении глубинность исследования не более 2–3 м.

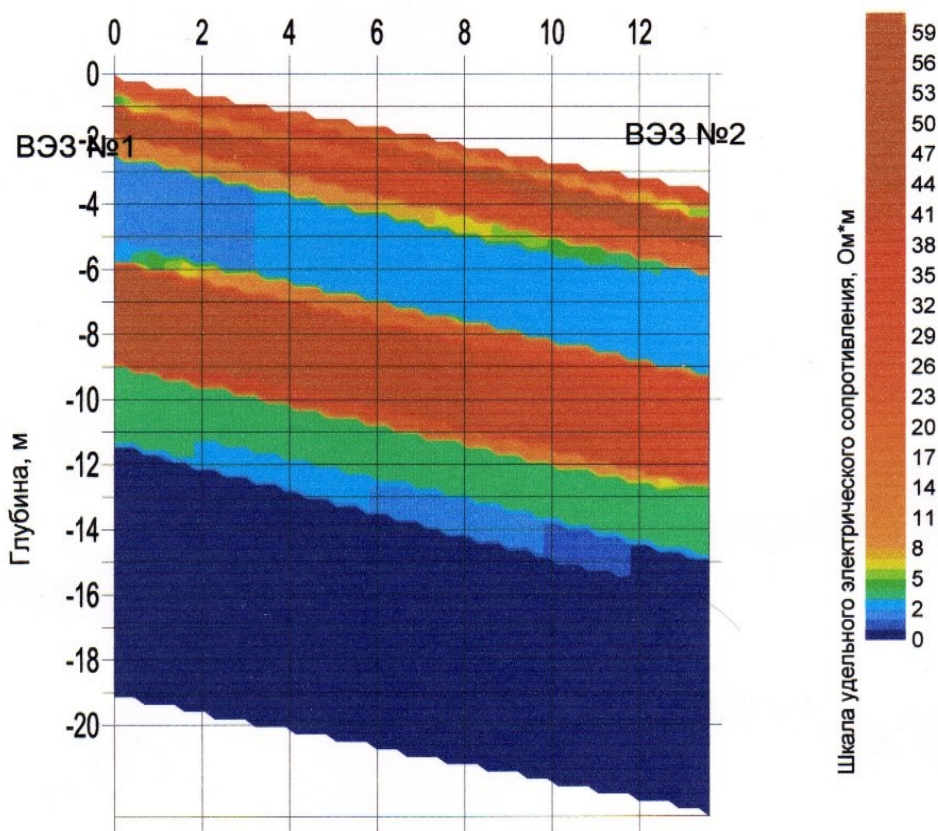
При проведении электроразведочных работ на грунтовой низконапорной дамбе обвалования применялся метод вертикального электрического зондирования. Данная методика позволяет получать удельное электрическое сопротивление (УЭС) грунтов при расчленении разреза по литологическому признаку. При построении кривых переходят к приближениям кривых с учетом полученных «псевдо-крест»-зондирований. Учитываются поверхностные неоднородности и отклонение от логичного распределения кривых. Производится оценка принципа эквивалентности с определением минимального количества геоэлектрических слоев. В результате обработки данных и интерпретации получены геоэлектрические разрезы УЭС грунтов (рисунок 3).

Точки зондирования № 1 и 2 находились на расстоянии 30 см соответственно. Зондирование проводилось на площади распространения небольшого оползня. Глубинность исследования составила 20 м.

В разрезе выделены следующие слои:

- 0–1 м – почвенно-растительный слой, сменяющийся супесями, с УЭС 20–25 Ом·м;
- 1–2 м – суглинки естественной влажности с УЭС 30–40 Ом·м;
- 2–6 м – глины увлажненные и водонасыщенные с УЭС 2–3 Ом·м;
- 6–9 м – суглинки водонасыщенные с УЭС 20–40 Ом·м;

- 9–12 м – глины уплотненные, водонасыщенные с УЭС 2–3 Ом·м;
- 12–18 м – глины естественного залегания плотные, водонасыщенные.



ВЭЗ – вертикальное электрическое зондирование / VES – Vertical electrical sounding

**Рисунок 3 – Фрагмент геоэлектрического разреза
удельного электрического сопротивления № 11**

**Figure 3 – Fragment of the geoelectric section
of specific electrical resistance no. 11**

Для нейтрализации действий основных причин роста ущерба таких факторов необходимо одновременное использование административных и экономических механизмов управления паводкоопасными территориями [17, 18].

Необходимо обосновать и разработать концепцию защиты от наводнений, экономический механизм ее реализации и нормативно-правовое обеспечение с учетом комплексного характера мероприятий по защите от наводнений, направленных на обеспечение устойчивого развития паводкоопасных территорий.

Выводы. В результате обследования грунтовой плотины получены результаты, которые подтверждают эффективность, производительность и информативность применявшихся геофизических методов при относительно небольших затратах. Также отмечена еще большая эффективность при применении комплекса геофизических методов.

Применяемый аппаратный и методический комплекс позволил решить поставленные задачи. Достоинство комплекса – это его мобильность в методическом отношении. После непродолжительных опытно-методических работ и экспресс-обработки удастся четко сориентировать и сочетать возможности аппаратного комплекса и инженерно-геологической ситуации для получения максимального качества и при наименьших затратах времени и средств.

Методы поиска относятся к дистанционным и неразрушающим, что дает возможность проводить исследования и мониторинг, не прекращая работу гидротехнических сооружений при различных обстановках.

Исследования грунтовых плотин следует проводить в режиме мониторинга при различных уровнях воды в водохранилище. Как видно из результатов обработки, геофизический комплекс позволяет изучать грунтовые плотины с определением параметров грунтов. Для определения физико-механических свойств грунтов следует проводить больший объем работ с использованием опорных скважин бурения и выявлением корреляционных зависимостей для параметров.

В настоящее время государство не может непосредственно регулировать многие вопросы, связанные с использованием земель, зданий и сооружений, не являющихся его собственностью, роль государства должна заключаться в законодательном и экономическом регулировании выполнения необходимых мероприятий и нормативов. Конечная цель законодательных актов и экономического регулирования – максимальное снижение стоимости объектов собственности на паводкоопасных территориях.

В заключение следует отметить, что поставленные задачи успешно решаются комплексом геофизических методов и основным вопросом является составление и корректировка методики индивидуально для объекта.

Список источников

1. Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М. О проблемах безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения // Гидротехническое строительство. 2011. № 5. С. 33–38.
2. Юрченко И. Ф. Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 28–40. DOI: 10.15507/2658-4123.032.202201.028-040.
3. Сенчуков Г. А., Капустян А. С., Косиченко Ю. М. Состояние безопасности и проблемы страхования гидротехнических сооружений мелиоративного назначения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 3(3). 6 с. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=459> (дата обращения: 01.08.2022).
4. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90–98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.
5. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 3(111). 11109. DOI: 10.34910/MCE.111.9.
6. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Определение вероятного риска аварии крупного канала вследствие фильтрационных деформаций // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 1(5). С. 145–156. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=561> (дата обращения: 01.08.2022).
7. Абдразаков Ф. К., Лазарева А. А. Нарушение надежности работы облицованных оросительных каналов // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2012. Т. 12, № 6. С. 52–54.
8. Бандурин М. А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 1(09). С. 68–79. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=625> (дата обращения: 01.08.2022).
9. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state / V. A. Volosukhin, M. A. Bandurin, V. V. Vanzha, A. V. Mikheev, Y. V. Volosukhin // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015, iss. 3. 032146. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032146.
10. Yurchenko I. F. Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2018. Vol. 96, № 5. P. 1253–1265.
11. The use of ionizing radiation for the tungsten preparation / B. P. Chesnokov, F. K. Abdrazakov, O. V. Naumova, D. S. Krivoschapov, V. A. Strelnikov // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. 33(1). P. 809–815.
12. Integrating geographic information system, remote sensing, and modeling to enhance reliability of irrigation network / E. H. Ashour, S. M. Elsayed, S. E. Ahemd, M. E. Basiouny, F. S. Abdelhaleem // Water and Energy International. 2021. Vol. 64r, № 1. P. 6–13.
13. Features of investing in reconstruction of reclamation objects by the example of irrigation systems of the Saratov region / L. A. Zhuravleva, T. V. Fedyunina, L. Yu. Evsyuko-

va, A. V. Rusinov, D. A. Kolganov, L. N. Pototskaya // Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № S4. P. 19.

14. Тищенко А. И. Расчет плит крепления в нижнем бьефе гидротехнических сооружений мелиоративной сети с целью увеличения их эксплуатационной надежности // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 2(34). С. 165–184. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=977> (дата обращения: 01.08.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-165-184.

15. Constructive-technological decisions in regulating the flow of atmospheric precipitation / O. G. Degtyareva, G. V. Degtyarev, N. P. Lavrov, D. U. Aliev // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 6(82). P. 32–48. DOI: 10.18720/MCE.82.4.

16. Особенности работы насосных станций на закрытых оросительных системах / Д. С. Бегляров, Ю. И. Сухарев, М. С. Али, Э. Е. Назаркин // Научная жизнь. 2021. Т. 16, № 5(117). С. 538–553.

17. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: reliability versus sustainability considerations for India's groundwater irrigation / R. M. Fishman, U. Lall, T. Siegfried, P. Raj, V. Modi // Water Resources Research. 2011. Vol. 47, № 12. W00L05. <https://doi.org/10.1029/2011WR010617>.

18. Method for assessing the reliability of earth dams in irrigation systems / K. S. Sultanov, B. Khusanov, P. V. Loginov, Sh. Normatov // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. № 4(89). 8901. DOI: 10.18720/CUBS.89.1.

References

1. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., 2011. *O problemakh bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo naznacheniya* [On the safety problems of hydraulic structures for reclamation purposes]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 5, pp. 33–38. (In Russian).

2. Yurchenko I.F., 2022. *Bezopasnost' avtomatizirovannykh tekhnologiy regulirovaniya meliorativnogo rezhima agroekosistemy* [Safety of automated technologies for regulating the reclamation regime of the agroecosystem]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy* [Engineering Technologies and Systems], vol. 32, no. 1, pp. 28–40, DOI: 10.15507/2658-4123.032.202201.028-040. (In Russian).

3. Senchukov G.A., Kapustyan A.S., Kosichenko Yu.M., 2011. [Safety status and security features of hydraulic structures for land reclamation appointments]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(3), 6 p., available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=459> [assessed 01.08.2022]. (In Russian).

4. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2021. *Osobennosti gidravlicheskh i fil'tratsionnykh raschetov osushitel'no-orositel'noy sistemy* [Features of hydraulic and filtration calculations of the drainage and irrigation system]. *Prirodoobustroystvo* [Nature Engineering], no. 4, pp. 90–98, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98. (In Russian).

5. Baev O., Kosichenko Yu., Silchenko V., 2022. Effect of subsoil moisture on filtration through a screen defect. *Magazine of Civil Engineering*, no. 3(111), 11109, DOI: 10.34910/MCE.111.9.

6. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. [Determination of the probable emergency risk of large-scale canal due to the seepage deformations]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(5), pp. 145–156, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=561> [assessed 01.08.2022]. (In Russian).

7. Abdrazakov F.K., Lazareva A.A., 2012. *Narushenie nadezhnosti raboty oblitovannykh orositelnykh kanalov* [Violation of reliability of the revetted irrigation canals]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavic University], vol. 12, no. 6, pp. 52–54. (In Russian).

8. Bandurin M.A., 2013. [Improving the methods of carrying out operational monitoring and determining the residual resource of water supply facilities]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(09), pp. 68-79, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=625> [assessed 01.08.2022]. (In Russian).

9. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Vanzha V.V., Mikheev A.V., Volosukhin Y.V., 2018. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, iss. 3, 032146, DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032146.

10. Yurchenko I.F., 2018. Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 96, no. 5, pp. 1253-1265.

11. Chesnokov B.P., Abdrazakov F.K., Naumova O.V., Krivoschapov D.S., Strelnikov V.A., 2017. The use of ionizing radiation for the tungsten preparation. *J. of Industrial Pollution Control*, 33(1), pp. 809-815.

12. Ashour E.H., Elsayed S.M., Ahemd S.E., Basiouny M.E., Abdelhaleem F.S., 2021. Integrating geographic information system, remote sensing, and modeling to enhance reliability of irrigation network. *Water and Energy International*, vol. 64r, no. 1, pp. 6-13.

13. Zhuravleva L.A., Fedyunina T.V., Evsyukova L.Yu., Rusinov A.V., Kolganov D.A., Pototskaya L.N., 2020. Features of investing in reconstruction of reclamation objects by the example of irrigation systems of the Saratov region. *Revista Turismo Estudos & Práticas*, no. S4, p. 19.

14. Tishchenko A.I., 2019. [Calculation of fastening plates in tailwater pool of land reclamation hydrotechnical structures for increasing their operational reliability]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(34), pp. 165-184, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=977> [assessed 01.08.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-165-184. (In Russian).

15. Degtyareva O.G., Degtyarev G.V., Lavrov N.P., Aliev D.U., 2018. Constructive-technological decisions in regulating the flow of atmospheric precipitation. *Magazine of Civil Engineering*, no. 6(82), pp. 32-48, DOI: 10.18720/MCE.82.4.

16. Beglyarov D.S., Sukharev Yu.I., Ali M.S., Nazarkin E.E., 2021. *Osobennosti raboty nasosnykh stantsiy na zakrytykh orositel'nykh sistemakh* [Features of operation of pumping stations on closed irrigation systems]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 16, no. 5(117), pp. 538-553. (In Russian).

17. Fishman R.M., Lall U., Siegfried T., Raj P., Modi V., 2011. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: reliability versus sustainability considerations for India's groundwater irrigation. *Water Resources Research*, vol. 47, no. 12, W00L05, <https://doi.org/10.1029/2011WR010617>.

18. Sultanov K.S., Khusanov B., Loginov P.V., Normatov Sh., 2020. Method for assessing the reliability of earth dams in irrigation systems. *Construction of Unique Buildings and Structures*, no. 4(89), 8901, DOI: 10.18720/CUBS.89.1.

Информация об авторах

И. А. Приходько – заведующий кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, кандидат технических наук, доцент;

М. А. Бандурин – декан факультета гидромелиорации, доктор технических наук, доцент;

В. А. Волосухин – профессор кафедры сопротивления материалов, доктор технических наук, профессор;

А. А. Руденко – аспирант.

Information about the authors

I. A. Prikhodko – Head of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

M. A. Bandurin – Dean of the Faculty of Hydrotechnical Engineering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

V. A. Volosukhin – Professor of the Department of Strength of Materials, Doctor of Technical Sciences, Professor;

A. A. Rudenko – Postgraduate Student.

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

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

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.08.2022; одобрена после рецензирования 12.10.2022; принята к публикации 20.10.2022.

The article was submitted 17.08.2022; approved after reviewing 12.10.2022; accepted for publication 20.10.2022.