

9. Ahmed S. Electronic ballast circuit configurations for fluorescent lamps. Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET). 2015.
10. Rakutko S. A., Rakutko E. N. Modeling and Numerical Analysis of Energy Ecology of Light Culture. Agricultural Machinery and Technologies. 2019. V. 13. № 3. Pp. 11-17.
11. Karpov V. N., Rakutko S. A. Energy Saving in Optical Electrotechnologies of the Agro-Industrial Complex. Applied Theory and Particular Methods. St. Petersburg, 2010.
12. Radjabov R. G., Ivanova N. V. Effect of infrared irradiation of heifer udders on milk productivity of first-calf heifers. Proceedings of the Donskoi State Agrarian University. 2020. № 4-1 (38). Pp. 65-69.
13. Dovlatov I. M., Yuferev L. Y. Analysis of Absorption Spectra of Electromagnetic Radiation by Plant Pigments. Innovations in agriculture. 2019. № 2 (31). Pp. 146-153.
14. Karpov V. N. Practical management of energy efficiency of the enterprise. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019. № 55. Pp. 118-125.
15. Gulin S. V., Rakutko S. A. Efficiency of Spectralizing Control of the Flow of Discharge Radiation Sources from the Standpoint of the Applied Theory of Energy Saving. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2012. № 28. Pp. 377-383.
16. Semenov A. D., Volkov A. V. Experimental Approbation of a Mathematical Model of High Pressure Sodium Lamps. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2018. № 1. Pp. 136-139.
17. Malyshev A. New – well-forgotten old: features of nutrition of bactericidal and fluorescent lamps and the choice of EPRA for them. Semiconductor lighting engineering. 2021. № 6 (74). Pp. 26-30.

Информация об авторах

Ракутько Елена Николаевна, научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) (Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филтровское ш., д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>, e-mail: elena.rakutko@mail.ru

Ракутько Сергей Анатольевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) (Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филтровское ш., д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, e-mail: sergej1964@yandex.ru

Author's Information

Rakutko Elena Nikolaevna, Researcher of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) (Russian Federation, 196625, St. Petersburg, Tyarlevo village, Filtrovskoe shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-9639>, e-mail: elena.rakutko@mail.ru

Rakutko Sergey Anatolyevich, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) (Russian Federation, 196625, St. Petersburg, Tyarlevo village, Filtrovskoe shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, e-mail: sergej1964@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-43

APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS FOR INSPECTION OF HYDRAULIC STRUCTURES

Istomin A. P., Solodovnikov D. A., Istomin S. A., Kovalenko I. A.

*Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences"
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: istomin-ap@vfanc.ru

Received 18.09.2023

Submitted 29.11.2023

The research was carried out within the framework of the state task FNFE-2022-0004 "Reclamation complexes: assessment, control of the state and management of processes using digital technologies"

Abstract

Introduction. A significant number of hydraulic structures (GTS) located on the territory of the Volgograd region are in an accident and inoperable condition. The unsatisfactory technical condition of the GTS has a negative impact on the security of settlements and economic facilities, the ecological condition of the territory, the integrated use of water resources of the Facility. **Object.** The object of research is the overflow dam on the Arable Erik of the Kashirinsky water tract. **Materials and methods.** The research was carried out using the GPR "Oko-3", equipped with a 2-frequency antenna unit 150 + 400 MHz. Georadiolocation survey is a non-destructive research method, which is based on the phenomenon of reflection of electromagnetic waves from surfaces on which electrical properties change. **Results and conclusions.** As a result of the georadiolocation study of the overflow dam on the Arable bridge of the Kashirinsky waterway, it was found that voids and pronounced soil decompression were not found to be critically dangerous for the hydraulic structure. The studies allowed to identify and localize inhomogeneities in the body of the dam, expressed in areas of disturbed soil structure in the body of the dam, as well as local areas of increased soil moisture. The use of non-destructive testing methods, including the use of such modern equipment as the GPR "Oko-3" with a 2-frequency antenna unit 150 + 400 MHz allows for a high degree of accuracy to carry out a survey of hydraulic structures.

Keywords: *Volga-Akhtuba floodplain, use of water resources, safety of hydraulic structures, flooding of the floodplain.*

Citation. Istomin A. P., Solodovnikov D. A., Istomin S. A., Kovalenko I. A. Application of non-destructive testing methods for inspection of hydraulic structures. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 381-392 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-43.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 502.35

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Истомин А. П., заместитель директора, руководитель центра
Солодовников Д. А., кандидат географических наук
Истомин С. А., младший научный сотрудник
Коваленко И. А., инженер-исследователь

*ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

**Исследования проведены в рамках государственного задания FNFE-2022-0004
«Мелиоративные комплексы: оценка, контроль состояния и управления процессами с помощью цифровых технологий»**

Актуальность. Значительное количество гидротехнических сооружений (ГТС), расположенных на территории Волгоградской области, находится в аварийном и неработоспособном состоянии. Неудовлетворительное техническое состояние ГТС оказывает негативное влияние на защищенность населенных пунктов и объектов экономики, экологическое состояние территории, комплексное использование водных ресурсов. **Объект.** Объектом исследований является переливная плотина на ерике Пахотный Каширинского водного тракта. **Материалы и методы.** Исследования проводились при помощи георадара «Око-3», укомплектованного 2-х-частотным антенным блоком 150+400 МГц. Георадиолокационная съемка является неразрушающим методом исследования, который основан на явлении отражения электромагнитных волн от поверхностей, на которых меняются электрические свойства. **Результаты и выводы.** В результате проведенного георадиолокационного исследования переливной плотины на ерике Пахотный Каширинского водного тракта установлено, что критически опасных для гидротехнического сооружения пустот и выраженных разуплотнений грунта не выявлено. Исследования позволили выявить и локализовать неоднородности в теле плотины, выразившиеся в участках нарушенной структуры грунта в теле плотины, а также локальных участках повышения влажности грунта. Использование методов неразрушающего контроля, в том числе с применением такого современного оборудования, как георадар «Око-3» с 2-х-частотным антенным блоком 150+400 МГц, позволяет с высокой степенью точности осуществлять обследование гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: *Волго-Ахтубинская пойма, использование водных ресурсов, безопасность гидротехнических сооружений, обводнение поймы.*

Цитирование. Истомин А. П., Солодовников Д. А., Истомин С. А., Коваленко И. А. Применение методов неразрушающего контроля для обследования гидротехнических сооружений. *Известия НВ АУК.* 2024. 1(73). 381-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-43.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Большинство гидротехнических сооружений (далее – ГТС), расположенных на территории Волгоградской области, построено в середине прошлого века. По информации Администрации Волгоградской области, приведенной в государственной программе Волгоградской области "Использование и охрана водных объектов, предотвращение негативного воздействия вод на территории Волгоградской области", утвержденной постановлением Правительства Волгоградской области от 30 августа 2013 г. № 453-п, из

более чем 4,5 тысяч ГТС, в аварийном и неработоспособном состоянии находится более 1,7 тысяч сооружений. Неудовлетворительное техническое состояние ГТС оказывает негативное влияние на защищенность населенных пунктов и объектов экономики, экологическое состояние территории, комплексное использование водных ресурсов [1].

Часть ГТС, расположенных на территории Волго-Ахтубинской поймы, помимо функции защиты от негативного воздействия вод, предназначена для обеспечения захода воды во время весеннего половодья на территорию поймы и удержания ее в меженный период. Одним из таких сооружений является переливная плотина на ерике Пахотный Каширинского водного тракта. Разрушение (деформация) данной плотины спровоцирует сброс накопленной во время весеннего половодья воды порядка 6,5-8,0 млн. куб. м с Каширинского водного тракта в р. Ахтуба. Негативные последствия отразятся на обводнении северной части Волго-Ахтубинской поймы, водообеспечении ряда населенных пунктов Среднеахтубинского муниципального района, сельском хозяйстве, а также экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации [2, 3, 4].

Функция удержания воды в руслах ериков после завершения половодья является для Волго-Ахтубинской поймы очень важной [5]. Устойчивый уровень воды в русле поддерживает уровень грунтовых вод на прилегающей территории на отметках, доступных для корневой системы деревьев [6]. Улучшаются лесорастительные условия и масштабы усыхания пойменных лесов [7]. Это, в свою очередь, снижает частоту ландшафтных пожаров [8], повышает рекреационную привлекательность территории [9] и в целом купирует тенденцию к иссушению и остепнению пойменных экосистем [10, 11].

Целью настоящей работы является оценка технического состояния и подготовка рекомендаций для принятия управленческих решений по обеспечению безопасности ГТС.

Материалы и методы. Для исследования переливной плотины на ерике Пахотный в районе х. Тутов был применен георадар «Око-3» производства ОАО «Геотех» (Россия), укомплектованный 2-х-частотным антенным блоком 150+400 МГц (рисунок 1).

Георадиолокационная съемка является неразрушающим методом исследования, который основан на явлении отражения электромагнитных волн от поверхностей, на которых меняются электрические свойства [12].

Метод позволяет решать широкий спектр прикладных задач, в частности:

- изучение геологических разрезов с определением мощностей слоев и типов пород;
- определение положения уровня грунтовых вод;
- определение толщины и типа конструктивных слоев искусственных сооружений;
- выявление дефектов строительных конструкций;
- обследование подстилающих грунтов с выделением зон разуплотнения, повышенной влажности и т.д.;
- поиск подземных коммуникаций;
- выявление инородных тел в грунте.

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание (Γ , [дБ/м]) и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Первый из них определяет глубину зондирования используемого георадара, знание второго параметра, необходимого для пересчета временной задержки отраженного импульса в глубину до отражающей границы.

Скорость распространения электромагнитной волны в среде равна:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{30}{\sqrt{\varepsilon}} [\text{см/нс}];$$

V – скорость распространения электромагнитной волны в среде;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Основным параметром среды является ее диэлектрическая проницаемость (ε), именно по значению этого коэффициента и определяют мощность отдельных слоев, положение границ раздела и пр. [13].

При георадиолокационном зондировании георадар перемещается по обследуемой поверхности.



Рисунок 1 – Георадарная съемка объекта исследования антенным блоком АБ 150/400

Figure 1 – GPR survey of the object of study with the antenna unit AB 150/400

Электромагнитная волна в грунте отражается от границ слоев, имеющих отличные диэлектрические свойства. В состав георадара входят излучающая (источник) и приемная (приемник) антенны. Источник излучает электромагнитную волну заданной частоты в виде конечного полупериодного импульса. В каждой точке дистанции записывается трасса – зависимость амплитуды сигнала от времени прихода отражения. Набор трасс по всей дистанции составляет радарограмму [14].

В георадарах применяются сверхширокополосные сигналы, состоящие из 1-2 периодов высокочастотных колебаний (однопериодные импульсы, или моноимпульсы). Для формирования импульсов малой длительности используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения с очень короткими фронтами – ударный метод возбуждения.

Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс отражается от находящихся в ней предметов или любых неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость. Такими неоднородностями могут быть пустоты, границы раздела слоев различных пород, участки с различной влажностью и т.д. [15].

Отраженный сигнал принимается приемной антенной, преобразуется в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки.

При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран монитора выводится совокупность сигналов (радарограмма), по которой можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов [16].

Результатами георадарного зондирования являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали – время прихода отраженных сигналов в наносекундах. Обработка сигналов осуществляется с помощью программы GeoScan32 [17].

Электрические свойства металлов кардинально отличаются от свойств любых грунтов, поэтому их выявление в грунте методом георадиолокации не вызывает существенных сложностей при условии нахождения металлических предметов в пределах глубины зондирования прибора и линейных размерах, превышающих разрешающую способность прибора. Бетонные конструкции в грунте также вызывают изменения в распространении электромагнитных полей. Метод георадиолокации позволяет выявлять бетонные включения в грунте, при условии, что их размер превышает разрешающую возможность прибора. Возможно также выявление подземных пустот, коммуникаций, определение глубины границ

раздела слоев с разными свойствами, определение изменений влажности грунта (в первую очередь песков). Практика изыскательских работ показывает, что метод георадиолокации хорошо подходит для задач, связанных с обследованием плотин [18, 19, 20].

Топографическая привязка георадарных профилей (точки начала и конца профиля) осуществлялась портативным приемником GPS Garmin eTrex 30х.

Результаты и обсуждения. Использование георадара «Око-3» с 2-х-частотным антенным блоком 150+400 МГц позволило выполнить исследование переливной плотины методом неразрушающего контроля.

Обе антенны георадара экранированы, что исключает поток электромагнитного излучения в верхнее полупространство прибора и подавляет отражение от объектов верхнего полупространства.

Антенна частотой 150 МГц позволяет зондировать грунты на глубину до 12 м, разрешающая способность (минимальный размер обнаруживаемых объектов) при этом составляет 0,35 м. Антенна частотой 400 МГц обеспечивает зондирование на глубину до 5 м, разрешающая способность сигнала при этом увеличивается до 0,15 м.

В настоящей работе, ввиду небольших мощностей зондируемых грунтов, основным инструментом выступала антенна 400 МГц, антенна 150 МГц выполняла функцию контрольной. Интерпретация радарограмм и визуализация полученной информации проводилась с использованием программы GeoScan32.

Всего на участках исследования выполнено 16 георадарных профилей суммарной протяженностью 668 м (рисунок 2).

Профили 1-3 расположены на дорожном полотне плотины. Профили 4-6 пересекают вымощенный бетонными плитами правый береговой склон. Профиль 7 проходит вдоль правого берегового склона. Профили 8-11 аналогично охватывают приплотинное пространство по левому берегу ерика Пахотный. Профили 12-16 пересекают поперек северо-восточный (обращенный в сторону р. Ахтуба) откос бетонной плотины. Противоположный (юго-западный, обращенный вниз по течению ерика откос) обследовать было невозможно ввиду высокого уровня воды на приплотинном участке. На момент обследования отметка уровня воды находилась на 0,5 м ниже гребня плотины.



Рисунок 2 – Схема расположения георадарных профилей
Figure 2 – Layout of GPR profiles

Для контроля и детализации участков, на которых в ходе полевого обследования выявлены признаки наличия в теле плотины неоднородностей, использовался антенный блок – бетоноскоп «Око-3» АБ-1700 с частотой 1700 МГц. Этот блок имеет глубину скани-

рования 1 м и разрешающую способность 0,03 м. С использованием данного антенного блока выполнено 13 профилей по дорожному полотну плотины, каждый протяженностью 2-3 метра (рисунок 3).



Рисунок 3 – Сканирование плотины бетоноскопом АБ-1700
Figure 3 – Scan of the dam with the AB-1700 concrete scope

Интерпретация радарограмм по профилям 1-3, проложенным по поверхности дорожного полотна плотины, показала сравнительно слабую обводненность тела плотины. Профиль № 1, расположенный на 0,5 м выше уровня воды в верхнем бьефе ГТС, показывает, что полная водонасыщенность грунтов начинается с глубины 3-3,5 м. Пустот и выраженных разуплотнений грунта не выявлено.

На общем однородном фоне выделяются следующие неоднородности:

Участки нарушенной структуры грунта в теле плотины. Имеют локальный характер, протяженность по линии профиля от 2 до 6 м метров. Неоднородности по всей ширине плотины не прослеживаются, на каждом профиле выявлено по одному такому участку (рисунки 4-6).

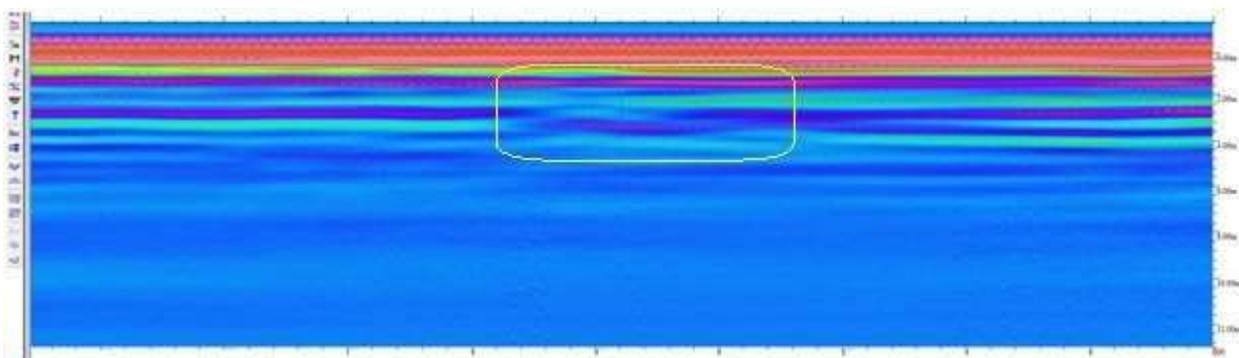


Рисунок 4 – Участок нарушенной структуры грунта на профиле 1
Figure 4 – Area of disturbed soil structure in profile 1

Расстояние 20-22 м от северо-западного конца плотины, глубина 1,8-3,3 метра (рисунок 4).

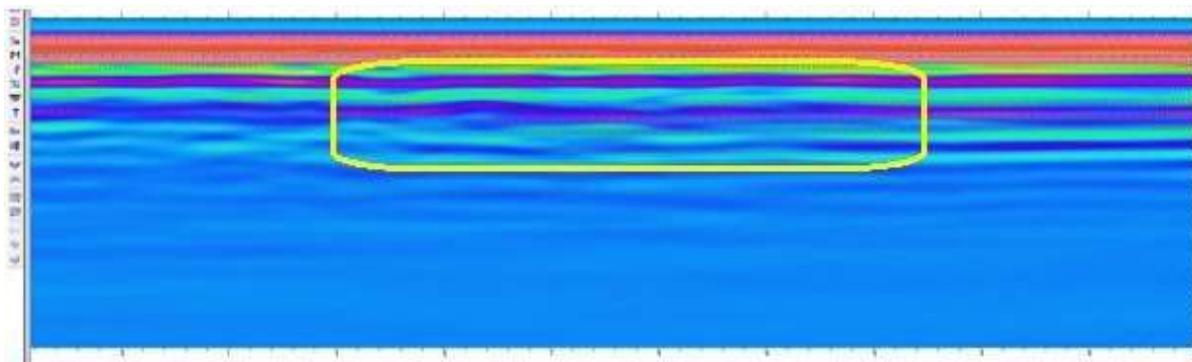


Рисунок 5 – Участок нарушенной структуры грунта на профиле 2
Figure 5 – Area of disturbed soil structure in profile 2

Расстояние 10-16 м от юго-восточного конца плотины, глубина 1,4-4,5 метра (рисунок 5).

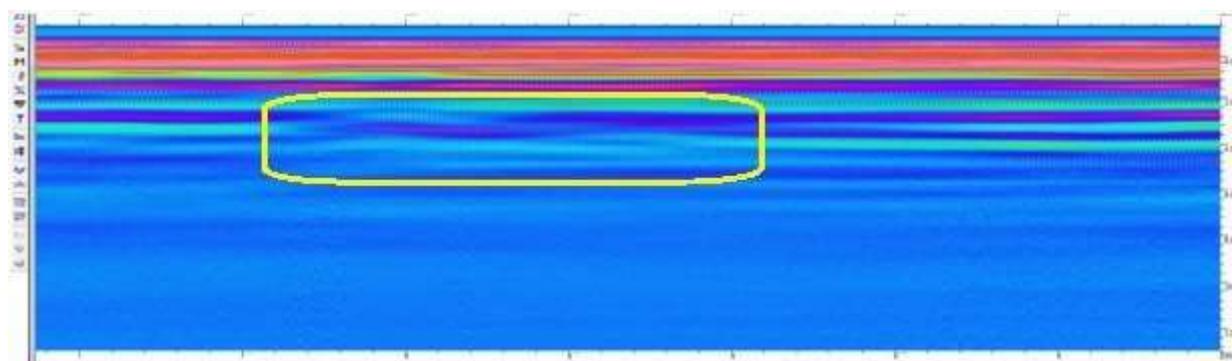


Рисунок 6 – Участок нарушенной структуры грунта на профиле 3
Figure 6 – Area of disturbed soil structure in profile 3

Расстояние 9-15 м от северо-западного конца плотины, глубина 2,0-3,0 метра (рисунок 6).

Выявленные неоднородности тела плотины при сканировании антенным блоком АБ 150/400 МГц, имеющие ширину в плане до 0,7-1 м и направленные поперек тела плотины, детально исследованы с помощью бетоноскопа АБ-1700. Часть таких зон визуальны различимы в нижней части откоса в виде протечек – фильтрации, выходящих из грунта, и свищей – выходов сосредоточенной фильтрации в виде отдельных струй воды, пробивающихся через тело плотины. Данная фильтрация прослеживается с глубины 0,3-0,9 м вниз до уровня грунтовых вод (УГВ) (рисунок 7).

Всего выявлено 11 зон фильтрации воды через тело плотины. Все они характеризуются возрастанием влажности грунта с 8-10 до 14-16%, интерпретируемым через изменение его диэлектрической проницаемости (ϵ).

Из 11-ти выявленных зон линейной фильтрации лишь три прослеживаются поперек всего полотна плотины и, очевидно, свидетельствуют о сквозных трещинах (рисунок 8). Они соответствуют участкам разгрузки фильтрующихся через тело плотины вод в виде протечек и свищей. Остальные выявлены только на одном из 3 продольных профилей дорожного полотна плотины и носят узлокальный характер.

Красные линии на рис.8 показывают зоны повышенной влажности, пересекающие поперек тело плотины; розовые точки – узлокальные повышения влажности, выявленные только на одном из трёх продольных профилей через плотину.

Сквозной участок № 1 (рисунок 8) расположен у юго-восточного окончания плотины. В нижней части откоса плотины по стыку угловых плит имеются признаки местной фильтрации, имеющей характер просачивания – капель, стекающих по откосу, и влаголюбивой растительности, развивающейся в трещине на стыке бетонных плит.

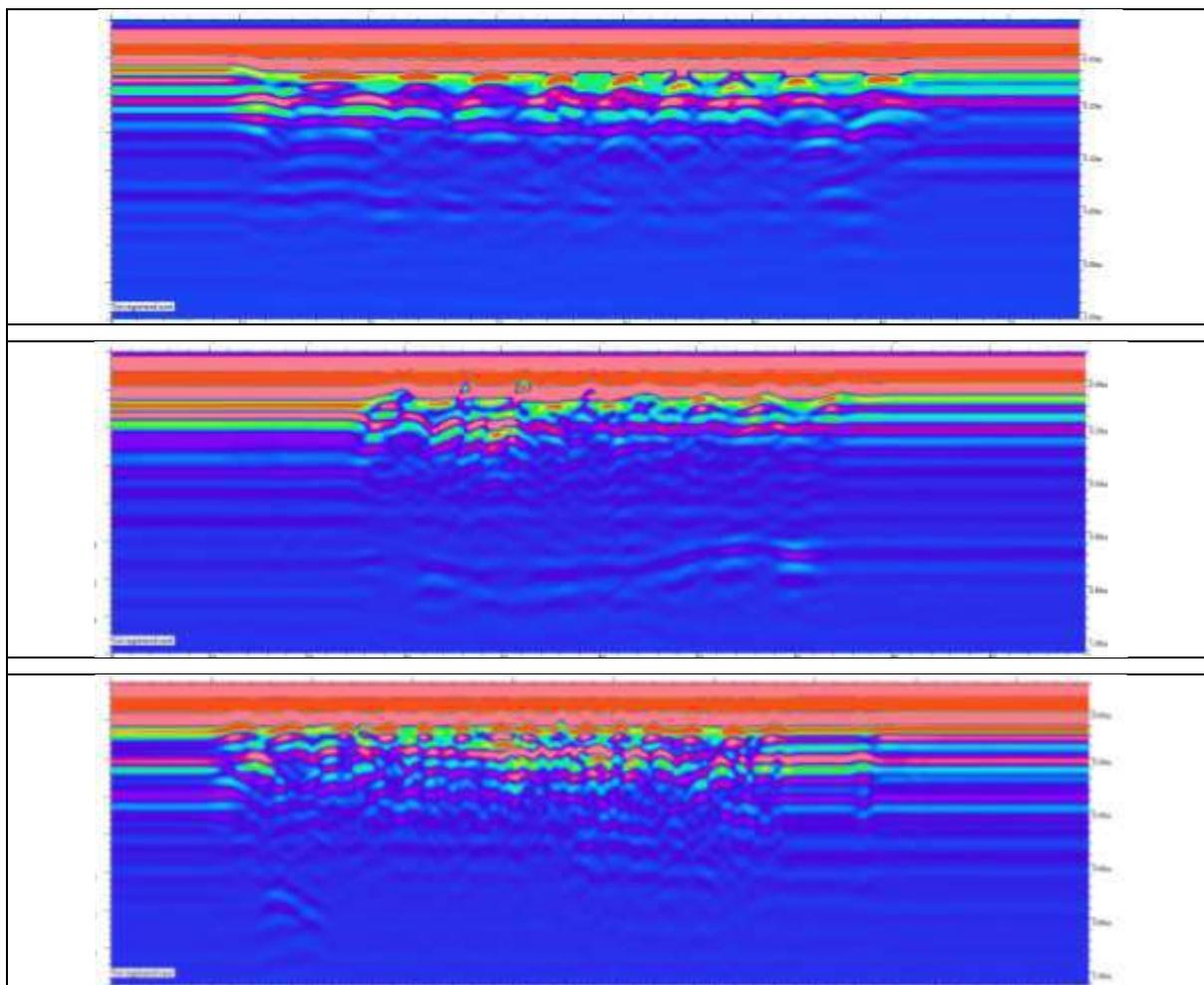


Рисунок 7 – Примеры отражения переувлажненных участков на радарограммах, полученных с использованием бетоноскопа АБ-1700

Figure 7 – Examples of reflection of waterlogged areas on radargrams obtained using the AB-1700 concrete scope



Рисунок 8 – Участки локального повышения влажности грунта, пересекающие тело плотины

Figure 8 – Areas of local soil moisture increase crossing the dam body

Сквозной участок № 2 расположен в 9-10 м от участка № 1. В нижней части откоса нижнего бьефа наблюдается свищ и истечение фильтрата из тела плотины в виде небольшого родника (рисунок 9).



Рисунок 9 – Истечение фильтрующей воды на участке № 2
Figure 9 – Filtered water outflow at site No. 2



Рисунок 10 – Полость в верхней части бетонного покрытия откоса нижнего бьефа ГТС
Figure 10 – Cavity in the upper part of the concrete pavement of the downstream slope of the GTS

Сквозной участок № 3 расположен в 10 м юго-восточнее водопропускного сооружения плотины. В нижней части откоса ему соответствует протечка (свищ).

Профили 4-11, проложенные по левому и правому береговым откосам плотины, демонстрируют строение периферии гидротехнического сооружения, выложенным железобетонными плитами. Нижняя часть этого склона подвергается воздействию поверхностного стока лишь в период пика весеннего половодья, 1-2 недели в году. Существенных неоднородностей здесь не установлено.

Проложенные профили 12-16 уточняют положение локальных зон фильтрации подземных вод на откосе ГТС. Помимо уже охарактеризованных зон фильтрации на одном из профилей выявлена пустота (полость) в верхней части бетонного покрытия. Пустота различима и визуальна (рисунок 10), георадиолокационное сканирование показало, что линейные размеры полости – около 1,5 м по длине, глубина – 0,2-0,3 м.

Заключение. В результате проведенного георадиолокационного исследования переливной плотины на ерике Пахотный Каширинского водного тракта установлено, что критически опасных для гидротехнического сооружения пустот и выраженных разуплотнений грунта не выявлено.

Интерпретация полученных радарограмм позволила выявить и локализовать неоднородности в теле плотины, выразившиеся в участках нарушенной структуры грунта в теле плотины, а также локальных участках повышения влажности грунта. Установлено три участка в юго-восточной части ГТС, которые образуют сквозные зоны повышенной влажности, пересекающие все тело плотины. Фильтрационные потоки выявленных зон повышенной влажности разгружаются в основании откоса нижнего бьефа плотины в виде протечек и свищей.

Использование методов неразрушающего контроля, в том числе с применением такого современного оборудования, как георадар «Око-3» с 2-х-частотным антенным блоком 150+400 МГц, позволяет с высокой степенью точности осуществлять обследование гидротехнических сооружений.

Комплексное определение технического состояния сооружений позволит использовать полученную информацию при принятии управленческих решений в части обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, рационального использования водных ресурсов, развития сельскохозяйственного потенциала региона [21].

Conclusions. As a result of a georadar study of the overflow dam on the Pakhotny erik of the Kashirinsky water tract, it was established that no voids or pronounced decompaction of the soil that are critically dangerous for the hydraulic structure were identified.

The interpretation of the obtained radargrams made it possible to identify and localize inhomogeneities in the dam body, expressed in areas of disturbed soil structure in the dam body, as well as local areas of increased soil moisture. Three sections have been established in the southeastern part of the hydraulic structure, which form through zones of high humidity crossing the entire body of the dam. Filtration flows from identified zones of high humidity are discharged at the base of the downstream slope of the dam in the form of leaks and fistulas.

The use of non-destructive testing methods, including the use of such modern equipment as the Око-3 ground penetrating radar with a 2-frequency antenna unit 150+400 MHz allows for the inspection of hydraulic structures with a high degree of accuracy.

A comprehensive determination of the technical condition of structures will make it possible to use the information obtained when making management decisions in terms of ensuring the safety of hydraulic structures, the rational use of water resources, and the development of the agricultural potential of the region.

Библиографический список

1. Фесенко В. В., Кукушкина Н. А. Анализ реализации основных целей стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 г. Грани познания. 2023. № 1 (84). С. 85-91.
2. Беляев А., Пугачёва А., Истомин А., Межевова А., Жихарев А., Истомин С., Хренов И. Изучение современного гидрологического режима озерной системы "Чайка" на территории Волго-Ахтубинской поймы. Экология и промышленность России. 2023. № 27(7). С. 60-65.
3. Глазунов В. В., Данильев С. М., Ефимова Н. Н. Применение метода георадиолокации для оценки состояния крепления верхового откоса грунтовых плотин. Записки Горного института. 2011. Т. 194. С. 167-172.
4. Павлова В. Обводнение Волго-Ахтубинской поймы – важнейший проект по оздоровлению Волги. Гидротехника. 2020. № 2 (59). С. 36-37.
5. Филиппов О. В., Солодовников Д. А., Золотарев Д. В., Канищев С. Н. Опыт восстановления деградированных ландшафтов и водных объектов Волго-Ахтубинской поймы: гидрологический аспект. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2012. № 2 (4). С. 34-43.
6. Marker B. R. Geology of megacities and urban areas. Engineering Geology for Tomorrow's Cities. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication. 2009. № 22. Pp. 33-48.

7. Рыбашлыкova Л. П., Лепеско В. В. Современное состояние лесного фитоценоза в Волго-Ахтубинской пойме. Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. Т. 4. С. 303-306.
8. Берденгалиева А. Н. Анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги по данным информационно-продуктов спутникового детектирования активного горения и выгоревших площадей. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 346-358.
9. Солодовников Д. А., Хаванская Н. М., Вишняков Н. В., Иванцова Е. А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм. Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 3. С. 106-114.
10. Анопин В. Н., Субботина М. В., Матовникова Н. Г., Меркулова М. А. К вопросу о методах мелиоративного урбандиагностирования. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Естественные науки. 2006. № 5. С. 154-158.
11. Onistratenko N. V., Ivantsova E. A., Denysov A. A., Solodovnikov D. A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction. *Ekologia Bratislava*. 2016. V. 35. № 3. Pp. 205-212.
12. Ширококов М. П., Иванов А. А., Пудова Н. Г. Применение комплекса геофизических методов для обследования состояния гидротехнических сооружений на примере грунтовой плотины в составе МГЭС (Карелия). *ГеоЕвразия-2021. Геологоразведка в современных реалиях: труды IV Международной геолого-геофизической конференции и выставки*. Тверь, 2021. С. 35-36.
13. Batrakov D. O., Antyufeyeva M. S., Kovalov M., Batrakov A. G. GPR data processing using the synthesized pulse method. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021- Proceedings. 2021. V. 3. Pp. 262-265.
14. Глазунов В. В., Данильев С. М., Ефимова Н. Н. Применение метода георадиолокации для оценки состояния крепления верхового откоса грунтовых плотин. *Записки Горного института*. 2011. Т. 194. С. 167-172.
15. Benedetto F., Tosti F. GPR spectral analysis for clay content evaluation by the frequency shift method. *Journal of Applied Geophysics*. 2013. V. 97. Pp. 89-96.
16. Кремнёв А. П., Поляков А. Н., Гусенок К. С., Мирзаев Т. А. Георадиолокационный метод контроля качества устройства цементно-грунтовых и монолитных конструкций, устраиваемых в грунте. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 34-39.
17. Ding L., Han B., Liu R.-Z., Zhang J.-Q. Inversion imaging method for concrete non-destructive testing based on GPR. *Acta Geophysica Sinica*. 2012. V. 55. № 1. Pp. 317-326.
18. Нигметов Г. М., Маклаков А. С., Ротару А. Н., Гайфуллин З. Г. Оценка технического состояния плотин с применением методов динамико-геофизических испытаний. *Технологии гражданской безопасности*. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 46-53.
19. Носкевич В. В., Горшков В. Ю., Байдилов С. В., Угрюмов И. А. Обследование состояния грунтовой плотины комплексом геофизических методов. *Гидротехническое строительство*. 2019. № 5. С. 30-37.
20. Фоменко Н. Е. Диагностика состояния прудовых плотин комплексом электроразведочных методов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2015. № 1. С. 26-32.
21. Belyaev A. I., Pugacheva A. M., Korneeva E. A. Assessment of Ecosystem Services of Wetlands of the Volga-Akhtuba Floodplain. *Sustainability*. 2022. V. 14. 11240.

References

1. Fesenko V. V., Kukushkina N. A. Analysis of the implementation of the main goals of the strategy for the socio-economic development of the Volgograd region until 2025. *Facets of knowledge*. 2023. No. 1 (84). Pp. 85-91.
2. Belyaev A., Pugacheva A., Istomin A., Mezhevova A., Zhikharev A., Istomin S., Khrenov I. Study of the modern hydrological regime of the Chaika lake system on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain. *Ecology and industry of Russia*. 2023. No. 27 (7). Pp. 60-65.
3. Glazunov V. V., Daniliev S. M., Efimova N. N. Application of the geo-radar method to assess the state of fastening of the upper slope of soil dams. *Notes of the Mining Institute*. 2011. V. 194. Pp. 167-172.
4. Pavlova V. Irrigation of the Volga-Akhtuba floodplain – the most important project for the improvement of the Volga. *Hydrotechnics*. 2020. No. 2 (59). Pp. 36-37.
5. Filippov O. V., Solodovnikov D. A., Zolotarev D. V., Kanishchev S. N. Experience in restoring degraded landscapes and water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain: hydrological aspect. *Bulletin of Volgograd State University. Episode 11: Natural Sciences*. 2012. No. 2 (4). Pp. 34-43.
6. Marker B. R. *Geology of megacities and urban areas. Engineering Geology for Tomorrow's Cities*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication. 2009. № 22. Pp. 33-48.
7. Rybashlykova L. P., Lepesko V. V. Current state of forest phytocenosis in the Volga-Akhtuba floodplain. World scientific and technological trends in the socio-economic development of the agro-industrial complex and rural areas: materials of the International scientific and practical conference. Volgograd: Volgograd SAU, 2018. V. 4. Pp. 303-306.
8. Berdengalieva A. N. Analysis of the fire rate of floodplain landscapes of the Lower Volga according to information products of satellite detection of active burning and burnt areas. *InterCarto. InterGIS*. 2022. V. 28. No. 1. Pp. 346-358.
9. Solodovnikov D. A., Khavanskaya N. M., Vishnyakov N. V., Ivantsova E. A. Methodological principles of geophysical monitoring of groundwater in river floodplains. *South of Russia: ecology, development*. 2017. V. 12. No. 3. Pp. 106-114.
10. Anopin V. N., Subbotina M. V., Matovnikova N. G., Merkulova M. A. On the issue of methods of reclamation urban landscape studies. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural Sciences*. 2006. No. 5. Pp. 154-158.
11. Onistratenko N. V., Ivantsova E. A., Denysov A. A., Solodovnikov D. A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction. *Ekologia Bratislava*. 2016. V. 35. No. 3. Pp. 205-212.
12. Shirobokov M. P., Ivanov A. A., Pudova N. G. Application of a complex of geophysical methods to examine the condition of hydraulic structures using the example of a soil dam as part of a small hydroelectric power station (Karelia). *GeoEurasia-2021. Geological exploration in modern realities. Proceedings of the IV International Geological and Geophysical Conference and Exhibition*. GeoEurasia LLC. Tver, 2021. Pp. 35-36.

13. Batrakov D. O., Antyufeyeva M. S., Kovalov M., Batrakova A. G. GPR data processing using the synthesized pulse method. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021- Proceedings. 2021. V. 3. Pp. 262-265.
14. Glazunov V. V., Daniliev S. M., Efimova N. N. Application of the geo-radar method to assess the state of fastening of the upper slope of soil dams. Notes of the Mining Institute. 2011. V. 194. Pp. 167-172.
15. Benedetto F., Tosti F. GPR spectral analysis for clay content evaluation by the frequency shift method. Journal of Applied Geophysics. 2013. V. 97. Pp. 89-96.
16. Kremnev A. P., Polyakov A. N., Gusenok K. S., Mirzaev T. A. GPR method for quality control of cement-soil and monolithic structures installed in the ground. Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Science. 2015. No. 16. Pp. 34-39.
17. Ding L., Han B., Liu R.-Z., Zhang J.-Q. Inversion imaging method for concrete non-destructive testing based on GPR. Acta Geophysica Sinica. 2012. V. 55. No. 1. Pp. 317-326.
18. Nigmatov G. M., Maklakov A. S., Rotaru A. N., Gaifullin Z. G. Assessment of the technical condition of dams using dynamic-geophysical testing methods. Civil Safety Technologies. 2021. V. 18. No. 1 (67). Pp. 46-53.
19. Noskevich V. V., Gorshkov V. Yu., Baidikov S. V., Ugryumov I. A. Inspection of the condition of a soil dam using a complex of geophysical methods. Hydrotechnical construction. 2019. No. 5. Pp. 30-37.
20. Fomenko N. E. Diagnostics of the condition of pond dams using a complex of electrical prospecting methods. News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2015. No. 1. Pp. 26-32.
21. Belyaev A. I., Pugacheva A. M., Korneeva E. A. Assessment of Ecosystem Services of Wetlands of the Volga-Akhtuba Floodplain. Sustainability. 2022. V. 14. 11240.

Информация об авторах

Истомин Александр Петрович, заместитель директора, руководитель Центра по защите и восстановлению малых рек и водоемов, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), e-mail: istomin-ap@vfanc.ru

Солодовников Денис Анатольевич, кандидат географических наук, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), e-mail: densolodovnikov@mail.ru

Истомин Сергей Александрович, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Коваленко Иван Александрович, инженер-исследователь лаборатории эколого-мелиоративных технологий и проектирования Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), e-mail: kovalenko-i@vfanc.ru

Author's Information

Istomin Aleksander Petrovich, Deputy Director-Head of the Center for the Protection and Restoration of Small Rivers and Reservoirs of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: istomin-ap@vfanc.ru

Solodovnikov Denis Anatolyevich, Candidate of Geographical Sciences, under an agreement with the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: densolodovnikov@mail.ru

Istomin Sergey Aleksandrovich, Junior Researcher in the Laboratory of Hydrology of Agroforestry Landscapes of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Kovalenko Ivan Aleksandrovich, engineer-researcher of the laboratory of environmental reclamation technologies and design of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: kovalenko-i@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-44

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF FIELD TESTS OF THE CROSS-COUNTRY ABILITY OF AN EXPERIMENTAL VEHICLE

¹Myasnikov A. S., ²Fomin S. D., ²Gapich D. S.

¹ChPOU "Gazprom College Volgograd named after. I. A. Matlashov"

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: fsd-58@mail.ru

Received 10.10.2023

Submitted 15.02.2024

Abstract

Introduction. In the work of an agro-industrial enterprise, transportation of agricultural goods in field conditions is an important stage of the technological process, the implementation of which arises difficulties associated with the condition and type of soil of the supporting surface, rugged terrain, which ultimately affects the increase in the time of transportation of goods, the presence of downtime in the work of the main and auxiliary