

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 627.514(470.621)

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-243-260

**Применение методов инженерной геофизики при оценке  
технического состояния сооружений инженерной защиты  
Шапсугского водохранилища**

**Михаил Александрович Бандурин<sup>1</sup>, Анна Сергеевна Романова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>cherura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

<sup>2</sup>any30082002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-917X>

**Аннотация.** Цель: применение методов инженерной геофизики, базирующихся на оценке параметров надежности с помощью неразрушающего контроля, для выявления состояния сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища. **Материалы и методы.** Материалами к исследованию послужили данные неразрушающего контроля, выполненного в разное время года на Шапсугском водохранилище георадаром «Око-3», прибором «Пульсар-2.2», электронным тахеометром Sokkia CX-105, Nokta Invenio Smart и пенетрометром статического действия ПСГ-МГ4. В ходе обследования обращалось внимание на наличие таких дефектов и повреждений: нарушение геометрических размеров сечения элемента или конструкции, наличие деформации элемента или конструкции в целом, образование и разуплотнение пустот, оползневые процессы, визуальные динамические повреждения, различные трещины и величина их раскрытия, коррозия бетона и металлических конструкций и т. д. **Результаты.** Применен инженерно-геофизический метод для оценки технического состояния сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища. Изучено состояние примыкания земляных сооружений к бетонным конструкциям и температурно-осадочных швов между бетонными и железобетонными конструкциями, влияющих на их устойчивость. Получены радиограммы мест обрушения, возникших в результате аварий и устраненных при реконструкции плотины. **Выводы.** На основании полученных результатов установлено, что геофизический комплекс позволяет исследовать земляные низконапорные плотины при определении различных параметров грунта, а самое главное – выявлять положение и размеры различных дефектов внутри грунтового основания дамбы. С выявленными трудностями успешно справились с помощью комбинированного геофизического метода, и основной проблемой является составление и адаптация метода под конкретный объект.

**Ключевые слова:** диагностика, геофизика, реконструкция, инженерная защита, водохранилище, надежность, техническое состояние, неразрушающие методы контроля, георадар

**Финансирование:** исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20003.

**Для цитирования:** Бандурин М. А., Романова А. С. Применение методов инженерной геофизики при оценке технического состояния сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 243–260. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-243-260>.



HYDRAULIC ENGINEERING,  
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Application of engineering geophysics methods in assessing the technical condition of engineering protection structures of the Shapsug reservoir**

**Mikhail A. Bandurin<sup>1</sup>, Anna S. Romanova<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University, Krasnodar, Russian Federation

<sup>1</sup>chepura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>

<sup>2</sup>any30082002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-917X>

**Abstract. Purpose:** to apply engineering geophysics methods based on the assessment of reliability parameters using non-destructive testing to identify the state of the engineering protection structures of the Shapsug reservoir. **Materials and methods.** The materials for the study were non-destructive testing data performed at different times of the year at the Shapsug reservoir, using “Oko-3” ground penetrating radar, “Pulsar-2.2” unit, Sokkia CX-105 total station, Nokta Invenio Smart and PSG-MG4 static action penetrometer. During the inspection, attention is drawn to the presence of such defects and damages as: violation of the geometric dimensions of the element or structure section; presence of deformation of an element or structure as a whole; formation and decompaction of the voids; landslide processes; visual dynamic damage; various cracks and the size of their opening; concrete and metal structures corrosion, etc. **Results.** The engineering-geophysical method for assessing the technical condition of the engineering protection structures of the Shapsug reservoir has been carried out. The state of the connection between earthworks and concrete structures and the temperature-sedimentation joints between concrete and reinforced concrete structures, affecting their stability, has been studied. Radiograms of collapse sites that arose as a result of accidents and were eliminated during the reconstruction of the dam were obtained. **Conclusions.** It was determined on the results obtained, that the geophysical complex makes it possible to study earthen low-head dams when determining various soil parameters, and most importantly, to identify the position and size of various defects inside the earth foundation of the dam. The identified difficulties were successfully resolved using a combined geophysical method, and the main problem is the compilation and adaptation of this method for a specific object.

**Keywords:** diagnostics, geophysics, reconstruction, engineering protection, reservoir, reliability, technical condition, non-destructive testing methods, ground penetrating radar

**Funding:** the research was carried out using grant funds from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation no. 24-26-20003.

**For citation:** Bandurin M. A., Romanova A. S. Application of engineering geophysics methods in assessing the technical condition of engineering protection structures of the Shapsug reservoir. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):243–260. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-243-260>.

**Введение.** Шапсугское водохранилище построено в 1939–1952 гг. в устьевой части р. Афипс и расположено на территории Республики Адыгея. С помощью водохранилища создана возможность грамотно регулировать паводковый сток р. Афипс и ее притоков, а также защищать Нижнюю Кубань от весенних наводнений, до начала реконструкции водами из водо-

хранилища орошались различные сельскохозяйственные культуры [1]. Основными источниками стока Шапсугского водохранилища являются р. Афипс и Шевуш, а также притоки р. Убинка. После строительства Шапсугского водохранилища устье р. Убинка было затоплено, вследствие чего водосборная площадь в устье р. Афипс и Убинка составила 1380 км<sup>2</sup>. Максимальный расход воды: основной расчетный случай – 3 % – 957 м<sup>3</sup>/с; поверочный расчетный случай 0,5 % – 1240 м<sup>3</sup>/с. Сегодня р. Убинка самостоятельно впадает в водохранилище. После открытия канала Супс – Шебш паводковые потоки р. Супс и Бюк частично поступают через р. Шевш в Шапсугское водохранилище. В целом сток р. Супс впадает в Октябрьское водохранилище. До строительства и ввода в эксплуатацию Шапсугского водохранилища р. Кубани достигали лишь воды р. Афипс, а с наступлением половодья воды этой реки затапливали болотистые плавни Закубанья [2].

В состав гидротехнических сооружений Шапсугского водохранилища входят: плотина, новое водосбросное сооружение, аварийное водосбросное сооружение, головной водозабор магистрального канала Афипской оросительной системы с рыбозащитным сооружением, дренажный канал вдоль восточной части плотины, берегоукрепительные сооружения левого берега р. Кубани, насосная станция № 3 [3].

Ширина р. Афипс после впадения р. Шебш – 80–90 м. Средняя глубина в межень на перекатах 0,1–0,2 м. Скорость течения 0,06–0,25 м/с. Максимальная скорость течения в паводок может достигать 1,5 м/с и более. В гидрогеологическом отношении территория размещения Шапсугского водохранилища занимает южную часть Азово-Кубанского артезианского бассейна. Зона активного водообмена верхнего гидрогеологического этажа включает безнапорный слоистый водоносный горизонт, приуроченный к верхней части толщи четвертичных отложений, и напорные водоносные горизонты (от 8 до 15 горизонтов), приуроченные к прослоям песков в отложениях четвертичной системы (нижняя часть толщи), апшерон-

ского и куяльницкого ярусов верхнего плиоцена. Водоносные горизонты гидравлически взаимосвязаны. Региональным водоупором для них, как отмечалось выше, являются глины куяльницкого яруса верхнего плиоцена, кровля которых прослеживается на глубине 300–350 м [4].

Напорные водоносные горизонты, залегающие на глубине более 50–60 м, содержат пресные воды питьевого качества и интенсивно эксплуатируются для целей водоснабжения всех населенных пунктов.

Сооружения Шапсугского водохранилища запроектированы и построены на расчетную сейсмичность 6 баллов, так как район расположения Шапсугского водохранилища относится к зоне возможной сейсмической интенсивности шкалы МЗК-64 для средних грунтовых условий: 8 баллов при 10 % вероятности превышения за 50 лет, 8 баллов при 5 %, 9 баллов при 1 % [5].

Реконструкция Шапсугского водохранилища проводится с 2014 г. и включена в перечень объектов капитального строительства, утвержденный приказом Минсельхоза России. Водоохранилище ждет трехлетняя модернизация, после чего запасы воды увеличат до 100 %. Будет полностью ликвидирована опасность разрушения. В настоящее время на водохранилище провели первую очередь реконструкции – капитально отремонтирована часть плотины, возведено аварийно-водосбросное сооружение. На это потратили 2 млрд руб. В целях реализации второй очереди потребуется еще более 1,5 млрд руб. На 2024 г. для продолжения работ по реконструкции гидротехнических сооружений Шапсугского водохранилища выделено более 1,4 млрд руб. Работы необходимо будет выполнить в срок до 25 декабря 2025 г. с момента заключения договора [6, 7].

Реконструкция будет включать выполнение подготовительных работ, ремонт и местами строительство земляной низконапорной дамбы с ливнеотводящими сооружениями и дренажем, необходимо также реконструировать водосбросное сооружение, возвести новый административно-

бытовой корпус, а также провести работы по благоустройству и озеленению ближайшей территории.

Цель исследований – применение методов инженерной геофизики, базирующихся на оценке параметров надежности с помощью неразрушающего контроля, для определения технического состояния железобетонных элементов и низконапорной земляной плотины при выполнении анализа технического состояния сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища.

**Материалы и методы.** Исследование выполнялось в различные времена года. Было проведено исследование плотины, водосбросного сооружения, инженерной защиты георадаром «Око-3». Также определяли вертикальность несущих конструкций оросительно-сбросной насосной станции № 3. При выполнении обследования использовались следующие приборы неразрушающего контроля: «Пульсар-2.2», электронный тахеометр Sokkia CX-105, Nokta Invenio Smart и пенетрометр статического действия ПСГ-МГ4. Допустимы условия применения [8–10].

Работы по оценке остаточной прочности бетона конструкций гидротехнических сооружений оросительно-сбросной насосной станции № 3 выполнялись путем проведения диагностики, а именно поверхностным профилированием как обследуемых железобетонных элементов, так и земляной низконапорной дамбы. При проведении обследования оросительно-сбросной насосной станции № 3 обращается внимание на наличие таких дефектов и повреждений, как: нарушение геометрических размеров сечения элемента или конструкции, наличие деформации элемента или конструкции в целом, образование и разуплотнение пустот, оползневые процессы, визуальные динамические повреждения, различные трещины и величина их раскрытия, коррозия бетона и металлических конструкций и т. д. [11].

Исследования с помощью приборов неразрушающего контроля включали в себя обследование элементов и частей гидротехнических со-

оружий с учетом проблемных вопросов выполнения мониторинга водопользования на юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений [12, 13].

**Результаты и обсуждение.** При проведении визуального обследования выявлялись дефекты и повреждения строительных конструкций, составлялись необходимые рабочие схемы. В ходе исследования установлена частота армирования несущих железобетонных элементов гидротехнических сооружений, определены диаметр, шаг размещения стержней арматуры и размеры защитного слоя бетона.

Деформации и обрушения железобетонной облицовки водосбросного сооружения не выявлено. В настоящее время на период реконструкции Шапсугского водохранилища аварийное водосбросное сооружение используется как основное [14]. В случае необходимости при возникновении аварийной ситуации новое водосбросное сооружение может быть задействовано дополнительно. Состояние водосбросного сооружения обеспечивает пропуск предусмотренного проектом расхода 413 м<sup>3</sup>/с. В целом техническое состояние водосбросного сооружения оценивается как удовлетворительное.

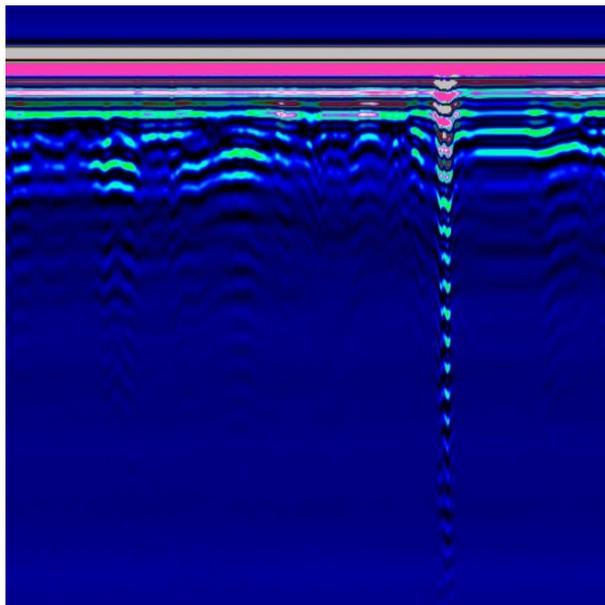
Было исследовано грунтовое основание земляной низконапорной дамбы (рисунок 1а), на фрагменте радарограммы приведены зоны геометрической привязки образования оползневых процессов на низконапорной дамбе, а именно смещения грунтового основания, образовавшиеся в результате длительной эксплуатации, которые будут устранены в процессе реконструкции (рисунок 1б).

Параметры земляной низконапорной дамбы соответствуют проектным. При настоящем обследовании оползневых явлений, сосредоточенных выходов фильтрационных вод на низовом откосе не обнаружено. Низовой откос не залужен, выявлены дождевые промоины и зарастание откоса кустарниковой растительностью. Нарушений конструкций горизонтального

дренажа не выявлено. В целом состояние земляной низконапорной дамбы удовлетворительное.



*a*



*b*

*a* – проведение исследования; *b* – фрагмент радарограммы  
*a* – research conducting; *b* – radargram fragment

**Рисунок 1 – Исследование инженерной защиты Шапсугского водохранилища георадаром «Око-3» (автор фото А. С. Романова)**

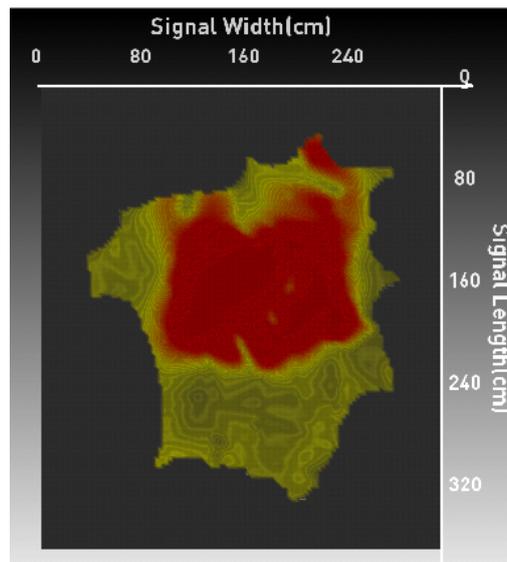
**Figure 1 – The study of engineering protection of the Shapsug reservoir with Oко-3 georadar (photo by A. S. Romanova)**

Параллельно проводилось исследование земляной низконапорной дамбы высокочастотным обнаружителем (рисунок 2а). С использованием

функции геосканера в реальном времени происходит построение 3D-модели разуплотнений с геометрическими характеристиками, где можно дать оценку плотности грунта уже в самом разуплотнении, т. е. выделить зону с наиболее неплотным грунтом (рисунок 2*b*).



*a*



*b*

*a* – проведение исследования; *b* – фрагмент 3D-модели разуплотнения  
*a* – research conducting; *b* – 3D decompaction model fragment

**Рисунок 2 – Исследование инженерной защиты Шапсугского водохранилища высокочастотным обнаружителем Nokta Invenio Smart (автор фото А. С. Романова)**

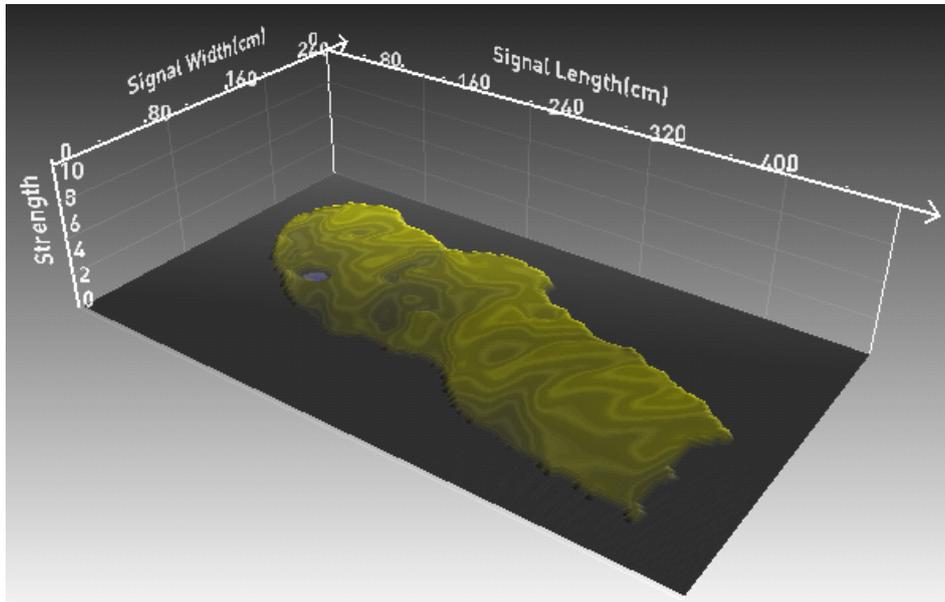
**Figure 2 – The study of engineering protection of the Shapsug reservoir with high frequency detector Nokta Invenio Smart (photo by A. S. Romanova)**

В ходе визуального обследования здания оросительно-сбросной насосной станции № 3 установлено, что фундамент выполнен в виде монолитной железобетонной плиты. Фундамент можно охарактеризовать как фундамент мелкого заложения. Гидроизоляция фундаментной плиты первой секции выполнена оклеечной с использованием рулонного рубероида, гидроизоляция фундаментной плиты второй секции устроена битумной мастикой. Для исследования конструкции фундамента здания устроено семь шурфов в местах разделения секций деформационным швом. Результаты инструментального определения прочности бетона фундамента представлены на рисунке 3.

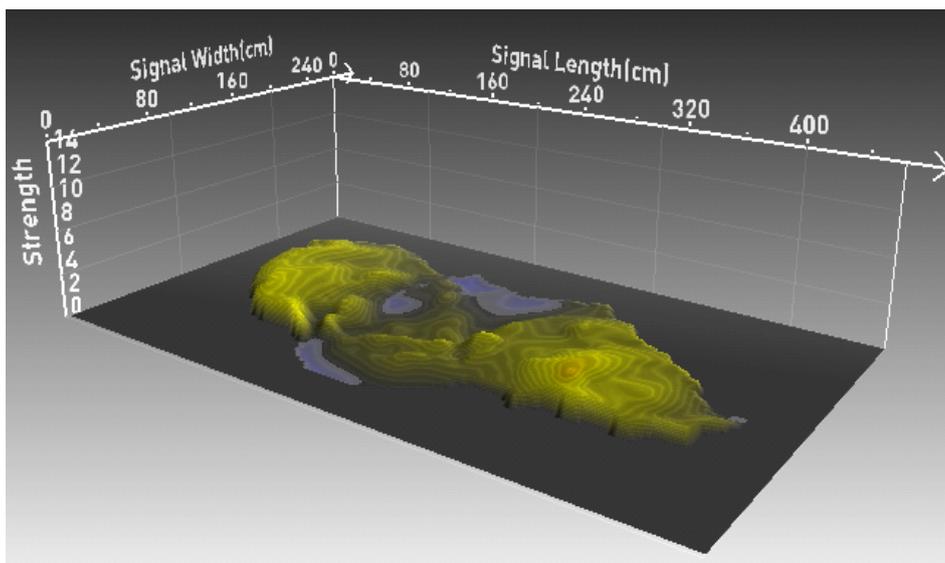
В ходе проведения исследования установлено, что на стыке секций фундамент состоит из железобетонной плиты и ленточного фундамента. Высота железобетонной плиты равна 740 мм. Высота ленточного фундамента на стыке двух секций равна 1400 мм. Под фундаментной плитой была обнаружена бетонная лента высотой 510 мм, назначение которой не установлено. Также был определен шаг армирования и величина защитного слоя бетона фундаментной плиты с помощью прибора неразрушающего контроля «Пульсар-2.2» [15, 16]. Величина защитного слоя бетона фундаментной плиты равна 47 мм. Шаг вертикальных и горизонтальных стержней в верхнем поясе равен  $200 \times 200$  мм. Были обнаружены полости на стыке секций фундамента, определены их геометрические параметры, построены 3D-модели полостей с геометрическими характеристиками и выделены зоны с наиболее неплотным грунтом (см. рисунок 3а).

В ходе визуального исследования установлено с помощью Nokta Invenio Smart, что стены зданий монолитные, железобетонные. Стены являются несущими, толщина конструкций составляет 200 мм. В целом плитный фундамент здания оросительно-сбросной насосной станции № 3 полностью соответствует проекту. Допустимые условия применения позволяют отслеживать нахождение пустот и разуплотнений, определять ширину

и длину сканируемой области, целевую глубину и форму в сканируемом  
грунтовом основании [17, 18].



*a*



*b*

- a* – фрагмент 3D-модели полости на стыке фундамента;
- b* – фрагмент 3D-модели разуплотнения под фундаментом
- a* – 3D model fragment of a cavity at the junction of foundations;
- b* – 3D model fragment of a decompaction under the foundation

**Рисунок 3 – Полости и разуплотнения, выявленные в фундаменте  
здания оросительно-сбросной насосной станции № 3  
(автор фото А. С. Романова)**

**Figure 3 – Cavities and decompactions identified in the foundation  
of the irrigation-discharge pumping station no. 3 building  
(photo by A. S. Romanova)**

На рисунке 3*b* представлена построенная 3D-модель разуплотнений с шириной, высотой и длиной, а также выделена зона с наиболее неплотным грунтом.

Проведена проверка армирования монолитных железобетонных стен оросительно-сбросной насосной станции № 3, в результате установлено, что арматурный каркас выполнен из горизонтальных вертикальных стержней класса А-III. Шаг стержней горизонтальной арматуры составляет порядка 300 мм, диаметр стержней составляет 12 мм. Шаг стержней вертикальной арматуры составляет 320 мм, диаметр стержней составляет 16 мм. Шаг хомутов в местах пересечения стен составляет 130 мм. Величина защитного слоя бетона составляет 15 мм.

В результате визуального исследования стен здания оросительно-сбросной насосной станции № 3 обнаружены дефекты и повреждения: каверны и пустоты в теле бетона, трещины, разрушение защитного слоя бетона, образование грибковой плесени, устройство холодного шва (перерывы в бетонировании отдельных конструкций).

Результаты исследования подтвердили, что железобетонная плита оросительно-сбросной насосной станции № 3 потеряла процент армирования, так как коррозионные процессы источили арматурные стержни за длительный период эксплуатации. При контроле армирования конструкции инструментальным методом было установлено, что конструкция армирована арматурой класса А-III. Верхний пояс построен из арматурных стержней диаметром 14 мм с шагом по горизонтали 310 мм и по вертикали 310 мм (результаты основаны на измерениях неразрушающим тестером «Пульсар-2.2»). Нижний пояс плиты состоит из сетки прутков диаметром 12 мм с шагом 175 × 175 мм. Величина защитного слоя бетона плиты перекрытия оросительно-сбросной насосной станции № 3 составляет 50 мм в верхнем поясе и 17 мм в нижнем поясе.

Выполнялось исследование земляной низконапорной дамбы для кон-

троля качества уплотнения грунтового основания с помощью пенетрометра статического действия ПСГ-МГ4 (рисунки 4а, 4б).



*a*



*b*

*a* – исследование откоса низконапорной земляной плотины;  
*b* – исследование основания низконапорной земляной плотины  
*a* – study of the low-head earthen dam slope;  
*b* – study of the low-head earthen dam base

**Рисунок 4 – Контроль качества уплотнения грунтового основания земляной низконапорной дамбы пенетрометром статического действия ПСГ-МГ4 (автор фото А. С. Романова)**

**Figure 4 – Quality control of compaction of the soil base of an earthen low-head dam using PSG-MG4 static action penetrometer (photo by A. S. Romanova)**

На рисунке 4а показано исследование откоса земляной низконапорной дамбы. Принцип работы пенетрометра заключается в преобразовании деформации упругих элементов тензометрического датчика силы под действием усилий в электрический сигнал. На основании полученной в ходе исследования зависимости между удельным сопротивлением пенетрации и механическими свойствами грунта определяются его свойства (таблица 1). Было выполнено исследование у основания земляной низконапорной дамбы, определены: угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль упругости, а также плотность [19].

**Таблица 1 – Исследование грунтового основания земляной  
низконапорной дамбы penetromетром статического  
действия ПСГ-МГ4**

**Table 1 – The study of the soil base of an earthen low-head dam using  
PSG-MG4 static action penetrometer**

№ за-ме-ра	Усилие пене-трации, Н	Среднее усилие пене-трации, Н	Сопро-тивление пене-трации, МПа	Модуль упру-гости, МПа	Кoeffи-циент уплотне-ния	Индекс влажно-сти	Угол внутрен-него тре-ния, °	Удельное сцепление грунта, МПа
1	182	175	6,22	93,9	1,08	0,94	32,8	0,0461
2	197	136	2,7	47,8	0,92	0,7	21,2	0,0253
3	175	362	7,21	106,9	1,1	0,98	36	0,0519
4	180	314	3,13	53,5	0,86	0,52	22,6	0,0279
5	177	201	7,14	107,85	1,24	0,85	37,7	0,0529
6	205	209	7,43	112,14	1,29	0,89	39,2	0,0551
7	181	207	7,36	111,07	1,28	0,89	38,8	0,0545
8	192	246	8,74	131,99	1,52	0,91	46,1	0,0648
9	209	203	7,22	108,92	1,25	0,86	38,0	0,0535
10	211	270	9,60	144,87	1,67	0,95	50,6	0,0711

Анализируя полученные в ходе исследования грунтового основания земляной низконапорной дамбы данные (см. таблицу 1), исключим замеры № 2, 4 и 10, ввиду достаточно большого отклонения измерений угла внутреннего трения и модуля упругости от среднего значения данных, что вызвано погрешностью измерений, оценка которых является неотъемлемой составляющей любого экспериментального исследования. Оценка соответствия фактических параметров гидротехнических сооружений инженерной защиты Шапсугского водохранилища показала некоторые отклонения от требуемых проектных значений.

**Выводы.** На основании исследований, выполненных с помощью аппаратно-методического комплекса, установлено, что железобетонные конструкции и грунтовое основание земляной низконапорной дамбы Шапсугского водохранилища находятся в целом в удовлетворительном состоянии и выполняют свои функциональные задачи.

Результаты исследования земляной низконапорной дамбы Шапсугского водохранилища подтвердили эффективность и информативность

применяемых геофизических методов, а поскольку методы исследования являются дистанционными и неразрушающими, их можно проводить без вмешательства в работу водного объекта.

### Список источников

1. Эффективность мониторинга технического состояния противопаводковой системы в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани в условиях возрастающих статических и сейсмических воздействий / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин, И. А. Приходько, Я. А. Комсюкова // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 6(390). С. 573–579. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_6\_573. EDN: НВТТРО.
2. Козлов Д. В., Юрченко А. Н. Важность своевременной оценки технического состояния гидротехнических сооружений для их безаварийной эксплуатации // *Гидротехническое строительство*. 2020. № 11. С. 12–19. <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2020.63.90.002>. EDN: BAZDНХ.
3. Кирсанов А. А. Инженерно-мелиоративный способ реконструкции Шапсугского водохранилища // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]*. 2012. № 82. С. 592–603. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/38.pdf> (дата обращения: 13.05.2024). EDN: PGKYZJ.
4. Волосухин В. А., Бандурин М. А., Приходько И. А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // *Природообустройство*. 2022. № 4. С. 50–56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. EDN: OKIGJZ.
5. Кореновский А. М., Юченко Л. В. Обследование и оценка технического состояния с целью повышения безопасности гидротехнических сооружений Крюковского водохранилища // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2018. № 2(70). С. 46–50. EDN: XRHSIH.
6. Волосухин Я. В. Техническое состояние существующих систем водоводов водозаборного сооружения Чернореченского водохранилища Республики Крым // *Приволжский научный журнал*. 2020. № 1(53). С. 162–170. EDN: GSHPVY.
7. Погорелов А. В., Лагута А. А. О циркуляции вод в долинном водохранилище (Краснодарское водохранилище) // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2020. № 4(208). С. 87–97. DOI: 10.18522/1026-2237-2020-4-87-97. EDN: UZKRXB.
8. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В. Обследование гидротехнических сооружений Ахмато-Лавровского водохранилища Краснокутского муниципального района Саратовской области при оценке их безопасности // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 7. С. 74–78. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74-78. EDN: OGYLPI.
9. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Планирование и реализация ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2010. № 4. С. 8–11. EDN: MUPMBJ.
10. Василевская Л. С., Волгин Н. А. Применение бесконтактных методов для расширения возможностей визуального обследования при оценке технического состояния гидротехнических сооружений // *Гидротехническое строительство*. 2021. № 6. С. 12–18. <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2021.72.11.002>. EDN: KNGJVO.
11. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Техничко-экономические показатели эффективности водопользования на оросительных системах // *Природообустройство*. 2009. № 4. С. 102–106. EDN: KZPKFT.
12. Волосухин В. А., Бандурин М. А. Проблемные вопросы реализации монито-

ринга водопользования на юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 2-1(24). С. 113–123. EDN: YRSCGH.

13. Ткачев А. А., Слинько М. А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 1. С. 213–227. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1269> (дата обращения: 13.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227. EDN: SMAWYI.

14. Косиченко Ю. М., Косиченко М. Ю., Иовчу Ю. И. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов // Природообустройство. 2008. № 1. С. 70–73. EDN: KBDTXN.

15. Использование методов инженерной геофизики при оценке инженерной безопасности зданий и сооружений / В. Е. Картавых, Д. В. Черняков, А. М. Шахраманьян, А. С. Маклаков // Технологии гражданской безопасности. 2004. № 2(6). С. 59–61. EDN: KVUODL.

16. Пути повышения эффективности эксплуатационных характеристик водохозяйственного комплекса Нижней Кубани / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин, И. А. Приходько, Д. А. Александров // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1(391). С. 27–32. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_27. EDN: GZHCIS.

17. Оценка технического состояния грунтовых сооружений инженерной защиты Костромской низины для продления срока эксплуатации / И. С. Соболев, Д. Н. Хохлов, В. М. Красильников, С. В. Соболев // Приволжский научный журнал. 2017. № 4(44). С. 87–93. EDN: ZWTKDZ.

18. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко, Г. Г. Костюнин, М. С. Эфендиев, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 49–65. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=913> (дата обращения: 13.05.2024). EDN: YOTSJT.

19. Шишкин В. О., Кирсанов А. А. Оценка эффективности инвестиционного проекта реконструкции Шапсугского водохранилища // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 48. С. 189–194. EDN: TGTUYL.

## References

1. Volosukhin V.A., Bandurina M.A., Prikhodko I.A., Komsyukova Ya.A., 2022. *Effektivnost' monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya protivopavodkovoy sistemy v vodokhozyaystvennom komplekse Nizhney Kubani v usloviyakh vozrastayushchikh staticheskikh i seysmicheskikh vozdeystviy* [Efficiency of monitoring the technical condition of the flood control system in the water management complex of the Lower Kuban under conditions of increasing static and seismic impacts]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 6(390), pp. 573-579, DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_6\_573, EDN: HBTTRO. (In Russian).

2. Kozlov D.V., Yurchenko A.N., 2020. *Vazhnost' svoevremennoy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy dlya ikh bezavariynoy ekspluatatsii* [The importance of timely assessment of the technical condition of hydraulic structures for their failure-free operation]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 11, pp. 12-19, <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2020.63.90.002>, EDN: BAZDHX. (In Russian).

3. Kirsanov A.A., 2012. [Engineering-reclamative method for reconstructing the Shapsug reservoir]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politemicheskiiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 82, pp. 592-603, available: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/38.pdf> [accessed 13.05.2024], EDN: PGKYZJ. (In Russian).

4. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., 2022. *Izmenenie klimata: prichiny, riski dlya vodokhozyaystvennogo kompleksa Krasnodarskogo kraya* [Climate change: reasons, risks for the water management complex of the Krasnodar Territory]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 50-56, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56, EDN: OKIGJZ. (In Russian).

5. Korenovsky A.M., Yuchenko L.V., 2018. *Obsledovanie i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya s tsel'yu povysheniya bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Kryukovskogo vodokhranilishcha* [Inspection and assessment of the technical condition for increasing the hydraulic structures safety of the Kryukovsky reservoir]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 46-50, EDN: XRHSIH. (In Russian).

6. Volosukhin Ya.V., 2020. *Tekhnicheskoe sostoyanie sushchestvuyushchikh sistem vodovodov vodozabornogo sooruzheniya Chernorechenskogo vodokhranilishcha Respubliki Krym* [Technical condition of the existing water supply systems of the water intake structure of the Chernorechensky reservoir of the Republic of Crimea]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhskiy Scientific Journal], no. 1(53), pp. 162-170, EDN: GSHPVY. (In Russian).

7. Pogorelov A.V., Laguta A.A., 2020. *O tsirkulyatsii vod v dolinnom vodokhranilishche (Krasnodarskoe vodokhranilishche)* [On water circulation in the valley reservoir (Krasnodar reservoir)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Series: Natural Sciences], no. 4(208), pp. 87-97, DOI: 10.18522/1026-2237-2020-4-87-97, EDN: UZKRXB. (In Russian).

8. Abdrazakov F.K., Mikheeva O.V., 2021. *Obsledovanie gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Akhmato-Lavrovskogo vodokhranilishcha Krasnokutskogo munitsipal'nogo rayona Saratovskoy oblasti pri otsenke ikh bezopasnosti* [Inspection of hydraulic structures of the Akhmato-Lavrovskiy reservoir of the Krasnokutsk municipal district of Saratov region when assessing their safety]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 7, pp. 74-78, DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp74-78, EDN: OGYLPI. (In Russian).

9. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2010. *Planirovanie i realizatsiya remontno-ekspluatatsionnykh rabot na orositel'nykh sistemakh* [Planning and implementation of repair and maintenance work on irrigation systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bull. of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 8-11, EDN: MUPMBJ. (In Russian).

10. Vasilevskaya L.S., Volgin N.A., 2021. *Primenenie beskontaktnykh metodov dlya rasshireniya vozmozhnostey vizual'nogo obsledovaniya pri otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [The using of non-contact method to expand the possibilities of visual inspection assessing the technical condition of hydraulic structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 6, pp. 12-18, <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2021.72.11.002>, EDN: KNGJVO. (In Russian).

11. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2009. *Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli effektivnosti vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [Technical and economic indices of efficiency of water use in irrigation systems]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 102-106, EDN: KZPKFT. (In Russian).

12. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., 2017. *Problemnyye voprosy realizatsii monitoringa vodopol'zovaniya na yuge Rossii v usloviyakh rosta tekhnogennykh nagruzok i klimaticheskikh izmeneniy* [Problematic issues of implementing monitoring of water use in southern Russia under the conditions of growing technogenic loads and climate change]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Don State Agrarian University], no. 2-1(24), pp. 113-123, EDN: YRSCGH. (In Russian).

13. Tkachev A.A., Slinko M.A., 2022. [Study of bank protection structures on the Kuma

river in the Stavropol Territory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 1, pp. 213-227, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1269> [accessed 13.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227, EDN: SMAWYI. (In Russian).

14. Kosichenko Yu.M., Kosichenko M.Yu., Iovchu Yu.I., 2008. *Kriterii ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Criteria for operational reliability of irrigation canals]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 70-73, EDN: KBDTXN. (In Russian).

15. Kartavykh V.E., Chernyakov D.V., Shakhramanyan A.M., Maklakov A.S., 2004. *Ispol'zovanie metodov inzhenernoy geofiziki pri otsenke inzhenernoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy* [The use of engineering geophysics methods in assessing the engineering safety of buildings and structures]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], no. 2(6), pp. 59-61, EDN: KVVUODL. (In Russian).

16. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Aleksandrov D.A., 2023. *Puti povysheniya effektivnosti ekspluatatsionnykh kharakteristik vodokhozyaystvennogo kompleksa Nizhney Kubani* [Ways to increase the efficiency of the performance characteristics of the water management complex of the Lower Kuban]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 1(391), pp. 27-32, DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_27, EDN: GZHCIS. (In Russian).

17. Sobol' I.S., Khokhlov D.N., Krasilnikov V.M., Sobol' S.V., 2017. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya gruntovykh sooruzheniy inzhenernoy zashchity Kostromskoy niziny dlya prodleniya sroka ekspluatatsii* [Estimation of the technical condition of soil engineering protection structures of the Kostroma Lowland for their operation life extension]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], no. 4(44), pp. 87-93, EDN: ZWTKDZ. (In Russian).

18. Olgarenko V.I., Yurchenko I.F., Olgarenko I.V., Kostyunin G.G., Efendiev M.S., Olgarenko V.Ig., 2018. [Planning effectiveness substantiation of technological processes of water use and operating control of water distribution using the Monte Carlo method]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 49-65, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=913> [accessed 13.05.2024], EDN: YOTSJT. (In Russian).

19. Shishkin V.O., Kirsanov A.A., 2014. *Otsenka effektivnosti investitsionnogo proekta rekonstruktsii Shapsugskogo vodokhranilishcha* [Assessment of the Shapsug reservoir reconstruction investment project efficiency]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], no. 48, pp. 189-194, EDN: TGTUYL. (In Russian).

---

#### **Информация об авторах**

**М. А. Бандурин** – декан факультета гидромелиорации, доктор технических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, [chepura@mail.ru](mailto:chepura@mail.ru), ORCID: 0000-0002-0986-8848;

**А. С. Романова** – аспирант, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, [any30082002@mail.ru](mailto:any30082002@mail.ru), ORCID: 0000-0001-9035-917X.

#### **Information about the authors**

**M. A. Bandurin** – Dean of the Faculty of Hydroreclamation, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University, Krasnodar, Russian Federation, [chepura@mail.ru](mailto:chepura@mail.ru), ORCID: 0000-0002-0986-8848;

**A. S. Romanova** – Postgraduate Student, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University, Krasnodar, Russian Federation, [any30082002@mail.ru](mailto:any30082002@mail.ru), ORCID: 0000-0001-9035-917X.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 21.03.2024; одобрена после рецензирования 05.06.2024;  
принята к публикации 17.06.2024.*

*The article was submitted 21.03.2024; approved after reviewing 05.06.2024; accepted for  
publication 17.06.2024.*