

МРНТИ 67.13.25 : 70.17.29

М. Оралсынкызы¹ – основной автор,
М.Н. Сенников², С.К. Джолдасов³,
Б.Ж. Манапбаев⁴, А.С. Мейрбекова⁵,
Б.Д. Джакияев⁶, У.А. Отаров⁷, Н.Т. Егенбердиев⁸

	^{1,5,6} Докторант, ² Д-р техн. наук, профессор, ^{3,4} Канд. техн. наук, ассоц. профессор
ORCID	¹ https://orcid.org/0009-0000-6629-6842 ² https://orcid.org/0000-0003-4944-2128
	³ https://orcid.org/0000-0002-3947-1411 ⁴ https://orcid.org/0000-0001-9140-178X
	⁵ https://orcid.org/0009-0000-2998-1349 ⁶ https://orcid.org/0000-0002-2787-3820
	^{1,2,3,4,5,6,7,8} Казахский национальный университет водного хозяйства и иригации,
	г. Тараз, Казахстан
@	¹ molyy_aa@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/CEIP3936>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА КОКСАЙСКОМ КОНТРРЕГУЛЯТОРЕ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы совершенствования методики и техники проведения полевых геофизических работ на Коксаиском контролрегуляторе – стратегически важном гидротехническом объекте юга Казахстана. С учетом необходимости повышения точности данных для гидрогеологических и инженерно-геофизических исследований, предложен комплексный подход, включающий оптимизацию существующих методик электрозондирования, сейсморазведки и георадарных измерений. Представлены результаты опытных полевых наблюдений, демонстрирующих эффективность модернизированных технических решений и цифровых методов обработки. Также проведена оценка влияния геофизических факторов на надежность и устойчивость конструкции контролрегулятора при различных сезонных нагрузках. Предложенные меры направлены на повышение информативности исследований, снижение трудоемкости и повышение безопасности проведения полевых работ. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, реконструкции и мониторинге аналогичных гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: полевые исследования, геофизика, Коксаиский контролрегулятор, сейсморазведка, инженерная геология, устойчивость плотины.



Оралсынкызы, М. Совершенствование методики и техники проведения полевых геофизических работ на Коксаиском контролрегуляторе [Текст] / М. Оралсынкызы, М.Н. Сенников, С.К. Джолдасов, Б.Ж. Манапбаев, А.С. Мейрбекова, Б.Д. Джакияев, У.А. Отаров, Н.Т. Егенбердиев //Механика и технология / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.319-329. <https://doi.org/10.55956/CEIP3936>

Введение. Современные условия эксплуатации гидротехнических сооружений требуют высокой точности в оценке инженерно-геологических условий, особенно в условиях сложной геоморфологии и сезонных колебаний

уровня грунтовых вод. Одним из ключевых объектов, нуждающихся в регулярном инженерно-геофизическом мониторинге, является Коксарайский контррегулятор – водохозяйственный узел, играющий важную роль в регулировании стока Сырдарьи и предотвращении паводков в южных регионах Казахстана [1].

При проектировании и реконструкции подобных объектов требуется своевременное получение достоверной информации о физико-механических свойствах грунтов, возможных зонах фильтрации, трещиноватости, а также структурных нарушениях в теле плотины и прилегающих участках. В этом контексте полевые геофизические исследования становятся незаменимым инструментом инженерной диагностики. Однако, несмотря на широкое применение геофизических методов в гидротехнической практике, существующие методики требуют доработки с учетом специфики сооружений, климатических условий региона и задач устойчивости конструкций.

В период с 12.09.2024 по 31.12.2024 были выполнены геофизические исследования на участке Коксарайского контррегулятора. Цель настоящих работ заключается в исследовании технического состояния объекта, определении зон ослабления физико-механических свойств грунтов, вызванного развитием опасных инженерно-геологических процессов под действием деятельности фильтрационного водного потока.

Настоящее исследование направлено на совершенствование методических подходов и технических решений при проведении полевых геофизических работ на Коксарайском контррегуляторе. Основной акцент сделан на комплексное применение методов электротомографии (ERT), сейсморазведки и георадарного зондирования (GPR) в условиях изменчивой водонасыщенности и неоднородности геологического разреза.

Целью работы является повышение точности интерпретации геофизических данных, снижение трудозатрат на полевых этапах и обеспечение надежности мониторинга технического состояния гидросооружения.

Применение геофизических методов в инженерных изысканиях и мониторинге состояния гидротехнических сооружений активно развивается в последние десятилетия. В работах отечественных и зарубежных исследователей [1-5] подчеркивается высокая эффективность электрофизических и сейсмических методов при диагностике нарушений в теле плотин, выявлении зон фильтрации, каверн, разуплотнений и других аномалий в грунтовом массиве.

Метод электротомографии (ERT) получил широкое распространение благодаря высокой чувствительности к изменению электропроводности водонасыщенных пород. Он используется для картирования зон фильтрации и локализации слабоуплотненных участков в основании и откосах плотин [2]. Вместе с тем, высокая зависимость метода от внешних факторов (температура, степень насыщенности, солесодержание) требует дополнительной адаптации при полевых измерениях, особенно в регионах с переменным уровнем грунтовых вод, как в бассейне Коксарая.

Методы сейсморазведки, включая отражательную и преломленную волну, позволяют получать данные о глубинной структуре основания, наличии разломов и неоднородностей. С их помощью можно выявить признаки техногенного уплотнения или ослабления грунта [3]. Однако, как

показывают исследования [4], сложность интерпретации сейсмических данных в условиях слабоконтрастных сред требует комплексирования с другими методами.

Метод георадарного зондирования (GPR) особенно эффективен для изучения верхней части геологического разреза и поиска локальных аномалий, таких как трещины, включения, разрывы инженерных конструкций [5]. В сочетании с GPS-привязкой и цифровыми алгоритмами обработки, георадар обеспечивает высокое пространственное разрешение, что критически важно для инспекционных обследований.

Согласно ряду работ [6-7], наибольший эффект достигается при интеграции нескольких методов в рамках единой геоинформационной системы (ГИС), что позволяет синхронизировать результаты и формировать пространственные модели потенциально опасных участков. В случае с Коксарайским контроллером подобный подход особенно актуален ввиду его масштабов, сложной геологической структуры и высокой социальной значимости объекта.

Несмотря на наличие большого числа работ, систематизированные исследования, ориентированные на методическую и техническую адаптацию полевых геофизических работ к условиям Коксарайского контроллера, до настоящего времени ограничены. Это обуславливает необходимость разработки специализированной методики, основанной на практике и полевых испытаниях.

Условия и методы исследований. Электротомография методом сопротивлений (ЭТ), также известная как метод электротомографической съемки (ERT – Electrical Resistivity Tomography), представляет собой современный способ электрофизического зондирования, направленный на построение двумерного или трехмерного распределения удельного электрического сопротивления подповерхностных структур. Метод широко применяется при инженерно-геологических, гидрогеологических, экологических и геотехнических изысканиях. Метод основан на регистрации электрического потенциала, возникающего в результате пропускания электрического тока через грунт или горные породы [8,9]. Система электродов, расположенных на поверхности или в скважинах, позволяет регистрировать вариации сопротивления в зависимости от геологических и гидрогеологических свойств среды. Различные материалы (например, сухой песок, влажная глина, вода, металлические включения) обладают различной электропроводностью, что делает метод чувствительным к изменению состава, структуры и влажности пород.

Для проведения измерений используется многоэлектродная электроразведочная станция «Скала 48» и комплект специализированных электроразведочных кос, при проведении сейсморазведки методом преломленных волн использовалась многоканальная сейсморазведочная станция «Лакколит XM-3» и комплект специализированных кос с геофонами.

Полевые геофизические исследования проводились на территории Коксарайского контроллера в весенне-летний период 2024 года с целью оценки состояния основания, склонов и тела гидротехнического сооружения. В качестве основных методов были выбраны:

- электротомография (ERT) – для выявления зон фильтрации, водонасыщенности и изменения сопротивления пород;
- георадарное зондирование (GPR) – для обследования верхней части разреза и поиска трещин, пустот и техногенных включений;

– сейсморазведка методом преломленных волн (Seismic Refraction) – для изучения глубинной структуры основания и расчета скоростей распространения продольных волн [10].

Методика работ. Полевой этап: разметка профиля на местности и установка электродов с определенным шагом (обычно от 1 до 5 метров). Выбор электрической схемы измерений (Веннера, Шлюмберже, диполь-диполь, градиент и др.). Автоматизированный запуск измерительного цикла с использованием выбранной схемы. Регистрация измеренного потенциала и вычисление псевдосопротивлений.

Получение информации происходит путем измерения разности потенциалов U_{MN} на приемных электродах, с помощью которого вычисляется кажущееся удельное электрическое сопротивление среды [11].

$$r_k = k \frac{U_{MN}}{I_{AB}} \quad (1)$$

где: r_k – кажущееся удельное сопротивление, Ом·м; k – коэффициент установки, зависящий от геометрических параметров; U_{MN} – разность потенциалов на приемных электродах, В; I_{AB} – сила тока в цепи, А.

В условиях Коксарайского контррегулятора, метод электротомографии позволяет выявить неоднородности в основании гидротехнических сооружений, установить зоны фильтрации, определить глубину залегания водоносных горизонтов и участки потенциальных разуплотнений. Использование схемы диполь-диполь обеспечивает высокую горизонтальную чувствительность и позволяет получить детальные данные о границах инженерно-геологических слоев.

Результаты исследований и их обсуждение. Полевые геофизические исследования, проведенные на ключевых участках Коксарайского контррегулятора, позволили получить информативные данные о состоянии основания, откосов и тела плотины. Обработка и интерпретация результатов показали высокую эффективность комплексного применения электротомографии, сейсморазведки и георадарного зондирования для решения инженерных задач.

Электротомография методом сопротивлений проводилась по двум продольным профилям, общей протяженностью два километра. Длина каждого профиля составляет один километр. Профили располагаются по гребню плотины от центрального водовыпускного канала и прилегают к парапету (рис. 1). Шаг между точками наблюдения составляет три метра.

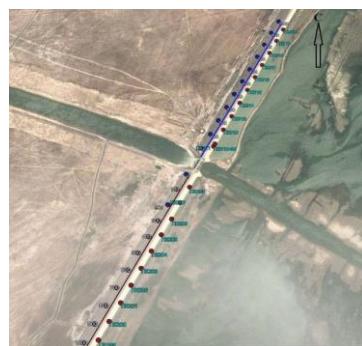


Рис.1. Схема профилей

Электротомография методом сопротивлений – метод электроразведки на постоянном токе, основанный на вертикальном электрическом зондировании геологической среды в двумерной вертикальной плоскости с целью изучения изменения удельного электрического сопротивления горных пород в литологической среде. Методика электротомографии заключается в многократных повторных измерениях сигнала в приемной линии при различном положении питающей, что обеспечивает получение информации на различных глубинных уровнях плоскости наблюдения (рис. 2).

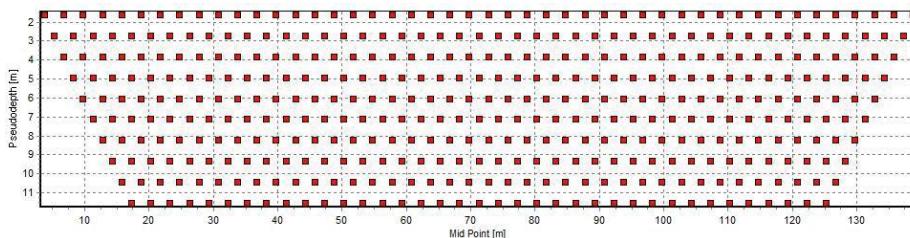
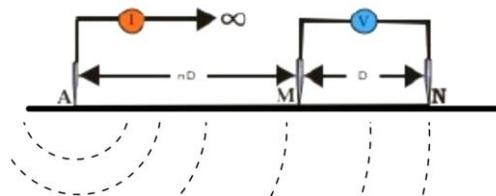


Рис.2. Схематическое изображение плоскости наблюдения

Электротомография проводилась трехэлектродной установкой поль - диполь (рис. 3). Электроразведочная установка – это система или комбинация взаимного расположения питающих (токовых) и приемных электродов с помощью которых проводятся измерения.



Условные обозначения:
А - Питающий (токовый) электрод
М, Н - Приемные электроды
— - - Линии тока

Рис.3. Схематическое изображение трехэлектродной установки

Трехэлектродная установка обеспечивает качественное горизонтальное покрытие и глубинность, сочетая это с помехоустойчивостью и высоким уровнем сигнала. Также трехэлектродная установка имеет большую чувствительность к горизонтальным неоднородностям. В целях повышения эффективности наблюдений, использовалось комбинирование прямой и обратной трехэлектродной установки (AMN+MNB).

Контроль качества измерений осуществлялся оператором измерительной электроразведочной станции. Качество измерений обеспечивалось путем заземления электродов электроразведочной линии. Диапазон значений электрических сопротивлений при проверке заземлений электродов составил 0-5 Ом.

Сейсморазведка методом преломленных волн проводилась по двум продольным профилям общей протяженностью два километра. Длина каждого профиля составляет один километр. Профили располагаются по гребню плотины от центрального водовыпусканого канала и прилегают к

парапету (рис. 4). Количество каналов составляет – сорок восемь. Шаг между пунктами приема составляет – три метра, шаг между пунктами возбуждения – шесть метров. Сейсморазведка – метод геофизики, основанный на регистрации искусственно возбуждаемых упругих волн с целью изучения изменения скорости распространения упругих волн в горных породах.

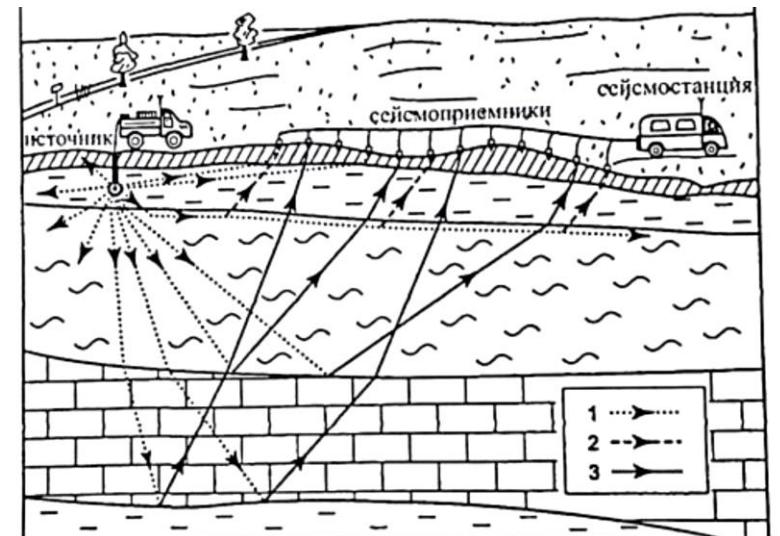


Рис.4. Принципиальная схема проведения сейсморазведки

Сейсморазведка проводилась по томографической методике, используя частый шаг пунктов возбуждения с целью получения более детальной литологической картины. Проведение сейсморазведочных работ проводилось в два этапа. Первый этап – возбуждение и регистрация продольных волн (P-волны), второй – возбуждение и регистрация поперечных волн (S-волны). Регистрация сигнала упругих волн производилась с помощью геофонов [11-13].



Рис.5. Схема расположения пунктов возбуждения и приема

В качестве источника упругих волн использовался источник типа «падающего груза», кувалда весом восемь килограмм. Возбуждение упругих волн производилось многократными ударами кувалдой по специализированной металлической конструкции, установленной на поверхности земли в точке возбуждения. С целью подавления помех и усиления полезного сигнала количество сейсмических накоплений (ударов кувалдой) составляет семь.

На рисунке 6 представлено изображение полевой сейсмограммы, полученной в результате многократных накоплений.

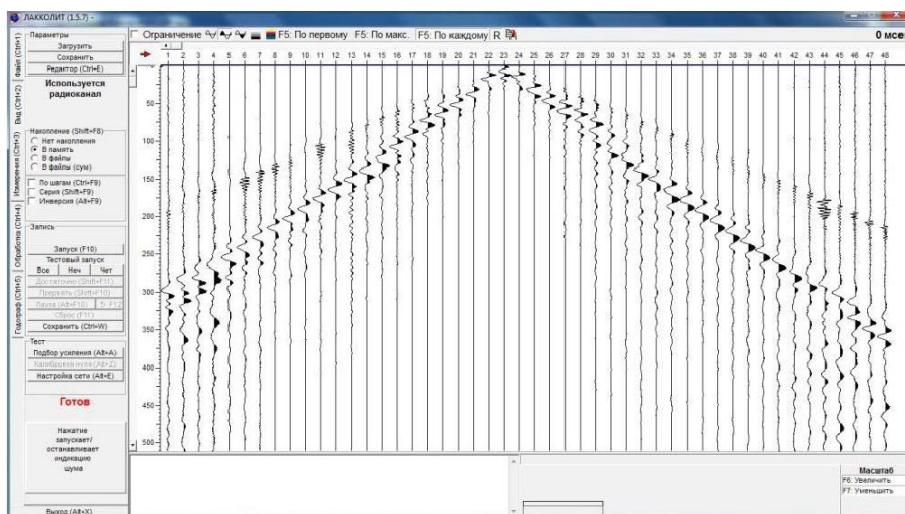


Рис.6. Полевая сейсмограмма. Р-волны

Возбуждение продольных волн (Р-волны) производилось ударом кувалдой по плоской металлической конструкции, установленной на поверхности земли в точке возбуждения. Возбуждение поперечных волн (S-волн) производилось ударом по торцам специализированной металлической конструкции под углом 45°.

Подповерхностное георадиолокационное зондирование проводилось по всему участку сооружения. Работы были проведены по четырем продольным профилям, общей протяженностью 161 000 м. Два продольных профиля располагаются по гребню сооружения, два – по берме (рис. 7). Георадиолокационные профили по берме сооружения закладывались с учетом обрыва участка бермы. Проектным техническим заданием предусмотрено 172 000 погонных м., но, в связи, с меньшей протяженностью участка бермы по сравнению с гребнем плотины, фактически было выполнено 161 000 м.



Рис.7. Схема георадиолокационных профилей

Принцип действия подповерхностного георадиолокационного зондирования основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приема сигналов, отраженных от раздела слоев зондируемой литологической среды, имеющих различные электрофизические свойства.

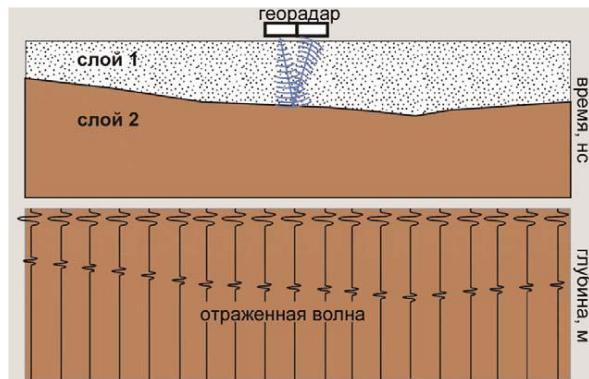


Рис.8. Принцип действия подповерхностного георадиолокационного зондирования

Результаты полевых исследований подтвердили высокую информативность выбранных методов и целесообразность их комплексного применения. Особое значение имеет гибкость методики: возможность адаптации под конкретные геологические условия и сезонные особенности Коксарайского региона. Использование ГИС-платформы обеспечило не только наглядность интерпретации, но и потенциальную интеграцию в системы постоянного мониторинга.

Заключение. На основе проведенных полевых геофизических исследований на Коксарайском контролрегуляторе сформулированы следующие основные выводы: комплексное применение методов электротомографии (ERT), георадарного зондирования (GPR) и сейсморазведки обеспечивает высокую степень достоверности при диагностике состояния гидротехнических сооружений. Каждый из методов раскрывает отдельные аспекты инженерно-геологической картины, а их интеграция позволяет выявлять как поверхностные, так и глубинные аномалии. Электротомографические измерения выявили участки повышенной водонасыщенности и возможной фильтрации, критичные с точки зрения устойчивости плотины. Георадар подтвердил наличие неоднородностей в верхней части тела сооружения, включая микротрещины и строительные дефекты. Сейсморазведка показала пониженнную скорость распространения волн в центральной части сооружения, указывая на потенциально разуплотненные участки основания, что требует особого внимания при сезонных нагрузках [14].

Привязка результатов к геоинформационной системе (QGIS) позволила визуализировать полученные данные в виде тематических карт и цифровых моделей, повысив эффективность принятия инженерных решений. Предложенная методика может быть рекомендована для регулярного мониторинга технического состояния Коксарайского контролрегулятора, а также аналогичных гидротехнических объектов, включая земляные дамбы,

водохранилища и каналы. Рекомендации: внедрить ГИС-платформу с модулем периодического обновления геофизических данных в рамках системы мониторинга. Использовать полученную модель риска для планирования укрепительных и восстановительных мероприятий. Продолжить адаптацию методики для других климатических и геологических условий, в том числе при весенних паводках.

Список литературы

1. ГКИНП (ОНТА) 01-271-03. Руководство по созданию сетей с использованием ГЛОНАСС/GPS [Текст]. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2003. – 56 с.
2. ГКИНП 02-172-83. Инструкция по производству аэрофототопографических работ при изысканиях [Текст]. – М.: Главное управление геодезии и картографии при СМ СССР, 1983. – 74 с.
3. ГКИНП 02-033-82. Инструкция по топографической съемке масштаба 1:5000–1:500 [Текст]. – М.: ГУГК при СМ СССР, 1982. – 110 с.
4. ГКИНП 02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст]. – М.: Росгеокарт, 2002. – 88 с.
5. Никитин, В.Н. Основы инженерной сейсмики [Текст] / В.Н. Никитин. – М.: МГУ, 1981. – 176 с.
6. Жданов, М.С. Электроразведка [Текст] / М.С. Жданов. – М.: Недра, 1986. – 316 с.
7. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях [Текст]: в 2 т. / пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
8. Интерпретация георадиолокационных данных [Текст]. – М.: МГУ, 2008. – 192 с.
9. Reynolds, J. M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler, D. K. Near-Surface Geophysics. – Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Амангельдиев, Б.К. Геофизические методы контроля состояния гидротехнических сооружений [Текст] / Б.К. Амангельдиев, Т.С. Жунусов. – Алматы: ҚазҰТУ, 2019. – 128 с.
12. Корнилов, С.И. Инженерно-геофизические изыскания на гидротехнических объектах [Текст] / С.И. Корнилов, А.В. Николаев // Гидротехника. – 2020. – № 5. – С. 22–27.
13. Мукашева, А.Б. Применение интегральных ГИС-моделей для оценки риска разрушения земляных плотин [Текст] / А.Б. Мукашева, Е.Ж. Бекенов // Вестник КазНИИТИГС. – 2023. – № 2. – С. 35–42.
14. Sambuelli, L., Calzoni, C., Deidda, G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – P. 13–24.

Исследования выполнены в рамках проекта BR24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологий для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 28.04.25, принят 26.09.25.

М. Оралсынқызы¹, М.Н. Сенников¹, С.К. Жолдасов¹, Б.Ж. Манапбаев¹,
А.С. Мейрбекова¹, Б.Д. Джакияев¹, У.А. Отаров¹, Н.Т. Егенбердиев¹

¹Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,
Тараз қ., Қазақстан

КӨКСАРАЙ КОНТРРЕТЕГІШІНДЕ ДАЛАЛЫҚ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН ТЕХНИКАСЫН ЖЕТИЛДІРУ

Аңдатпа. Мақалада Қазақстанның оңтүстігіндегі стратегиялық маңызы бар гидротехникалық құрылыш болып табылатын Көксарай контррегуляторында далалық геофизикалық жұмыстарды жүргізу әдіstemесі мен технологиясын жетілдіру мәселелері қарастырылған. Гидрогеологиялық және инженерлік-геофизикалық зерттеулерге арналған деректердің дәлдігін арттыру қажеттілігін ескере отырып, электрлік зондтау, сейсмикалық барлау және жерүсті радиолокациялық өлшеулердің қолданыстағы әдістерін оңтайландыруды қамтитын кешенді тәсіл ұсынылады. Жаңартылған техникалық шешімдер мен цифрлық өңдеу әдістерінің тиімділігін көрсететін тәжірибелік далалық бақылаулардың нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ әртүрлі маусымдық жүктемелер кезінде қарсы реттегіш конструкциясының сенімділігі мен тұрақтылығына геофизикалық факторлардың әсеріне баға берілді. Ұсынылған шаралар ғылыми зерттеулердің ақпараттық мазмұнын арттыруға, еңбек сыйымдылығын төмендетуге және далалық жұмыстардың қауіпсіздігін арттыруға бағытталған. Алынған нәтижелерді үқсас гидротехникалық құрылыштарды жобалау, қайта құру және мониторингілеу кезінде пайдалануға болады.

Тірек сөздер: далалық зерттеулер, геофизика, Көксарай контррегуляторы, сейсмикалық барлау, инженерлік геология, бөгет орнықтылығы.

М. Oralsynkyzy¹, М.Н. Sennikov¹, С.К. Joldassov¹, Б.Ж. Manapbayev¹,
А.С. Meyrbekova¹, Б.Д. Jakiyayev¹, У.А. Otarov¹, Н.Т. Egenberdiyev¹

¹Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

IMPROVING THE METHODS AND TECHNIQUES OF FIELD GEOPHYSICAL WORK AT THE KOKSARAI COUNTERREGULATOR

Abstract. The article considers the issues of improving the methodology and technology of conducting field geophysical works at the Koksarai counter-regulator, a strategically important hydraulic structure in the south of Kazakhstan. Taking into account the need to increase the accuracy of data for hydrogeological and engineering-geophysical research, an integrated approach is proposed, which includes the optimization of existing methods of electrical sounding, seismic exploration and ground-based radar measurements. The results of experimental field observations are presented, demonstrating the effectiveness of updated technical solutions and digital processing methods. The influence of geophysical factors on the reliability and stability of the counter-regulator design under various seasonal loads is also assessed. The proposed measures are aimed at increasing the information content of scientific research, reducing labor intensity and increasing the safety of field work. The results obtained can be used in the design, reconstruction and monitoring of similar hydraulic structures.

Keywords: field research, geophysics, Koksaray counter-regulator, seismic exploration, engineering geology, dam stability.

References

1. GKINP (ONTA) 01-271-03. Rukovodstvo po sozdaniyu setey s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Guidelines for the Creation of Networks Using GLONASS/GPS]. – Moscow: Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia, 2003. – 56 p. [in Russian].
2. GKINP 02-172-83. Instruktsiya po proizvodstvu aerofototopograficheskikh rabot pri izyskaniyakh [Instruction on the Production of Aerial Phototopographic Works for Surveys]. – Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1983. – 74 p. [in Russian].
3. GKINP 02-033-82. Instruktsiya po topograficheskoy s"emke mashtaba 1:5000–1:500 [Instruction on Topographic Survey at a Scale of 1:5000–1:500]. – Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1982. – 110 p. [in Russian].
4. GKINP 02-036-02. Instruktsiya po fotogrammetricheskim rabotam pri sozdaniii tsifrovyykh topograficheskikh kart i planov [Instruction on Photogrammetric Works for the Creation of Digital Topographic Maps and Plans]. – Moscow: Rosgeokart, 2002. – 88 p. [in Russian].
5. Nikitin V.N. Osnovy inzhenernoy seismiki [Fundamentals of Engineering Seismology]. – Moscow: Moscow State University, 1981. – 176 p. [in Russian].
6. Zhdanov M.S. Elektrorazvedka [Electrical Prospecting]. – Moscow: Nedra, 1986. – 316 p. [in Russian].
7. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh [Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements]: in 2 vols. / transl. from French. – Moscow: Mir, 1983. – Vol. 1. – 312 p. [in Russian].
8. Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of Ground-Penetrating Radar Data]. – Moscow: Moscow State University, 2008. – 192 p. [in Russian].
9. Reynolds J.M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler D.K. Near-Surface Geophysics. – Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Amangel'diev B.K., Zhunusov T.S. Geofizicheskie metody kontrolya sostoyaniya gidrotehnicheskikh sooruzheniy [Geophysical Methods for Monitoring the Condition of Hydraulic Structures]. – Almaty: Kazakh National Technical University, 2019. – 128 p. [in Russian].
12. Kornilov S.I., Nikolaev A.V. Inzhenerno-geofizicheskie izyskaniya na gidrotehnicheskikh ob'yektakh [Engineering-Geophysical Surveys at Hydraulic Engineering Objects] // Hydraulic Engineering. – 2020. – No. 5. – Pp. 22–27. [in Russian].
13. Mukasheva A.B., Bekenov E.Zh. Primenenie integral'nykh GIS-modeley dlya otsenki riska razrusheniya zemlyanykh plotin [Application of Integrated GIS Models for Assessing the Risk of Earth Dam Failure] // Bulletin of KazNIITIGS. – 2023. – No. 2. – Pp. 35–42. [in Russian].
14. Sambuelli L., Calzoni C., Deidda G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – Pp. 13–24.