МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.И. Калашник, *канд. техн. наук, вед. науч. сотр.*
Горный институт КНЦ РАН
(Россия, г. Апатиты)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11896

Аннотация. *Разработаны методологические основы комплексирования междисциплинарных методов для целей мониторинга гидротехнических сооружений как открытых динамических природно-технических систем. Приведен пример реализации методологии мониторинга фильтрационных процессов и раскрытия механизма инфильтрации вод поверхностного водоема в карьер.*

Ключевые слова: *мониторинг, гидротехнические сооружения, междисциплинарные методы, комплексирование, методология*

Произошедшие разрушения дамб/плотин на золотоносном прииске в Красноярском крае, а также негативные инциденты и крупные аварии гидротехнических сооружений в других странах (Брумадинью, Бразилия; Айка, Венгрия; Инд, Пакистан, и др.), приведшие к гибели людей и огромным социально-экономическим потерям, ставят во главу угла необходимость постоянного всестороннего контроля и диагностику состояния таких сооружений [1-5]. При этом основная проблема контроля и диагностики заключается в том, что зарождение опасных фильтрационно-деформационных процессов происходит в подповерхностных ослабленных и неоднородных зонах грунтов, первоначально скрытых от визуальных и наземных наблюдений. Проявления таких процессов могут быть зафиксированы на ранней стадии только с применением исследований разного масштаба и на различных уровнях, позволяющих в том числе контролировать все гидротехническое сооружение в целом, а также сопряженные с ним природно-технические системы [3, 6-8].

Для этих целей была разработана концепция применения системы мониторинга, комплексирующей, с одной стороны, необходимые современные методы контроля и диагностики гидротехнических сооружений как открытых динамических природно-технических систем, и ориентированной, с другой стороны, на оперативное выявление на ранних стадиях геоиндикаторов потери прочности и устойчивости, и снижения надежности сооружения в целом [6, 9] (рис. 1).

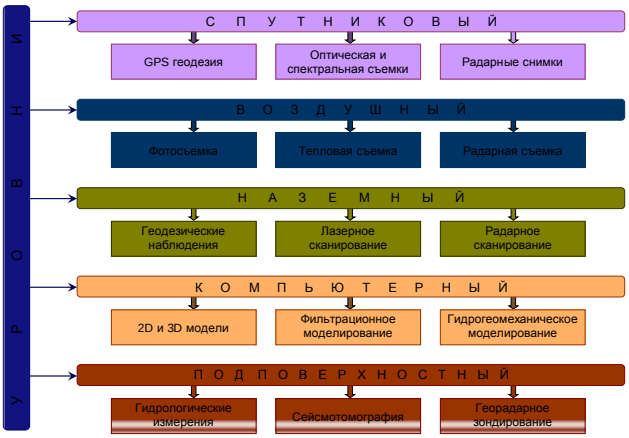

Рис. 1. Концепция комплексирования междисциплинарных методов и средств мониторинга гидротехнических сооружений

Мониторинг гидротехнических сооружений базируется на комплексировании междисциплинарных режимных исследований на различных уровнях, соотнесенных с земной поверхностью: подповерхностном (гидротехнические измерения, пьезометрические и скважинные регистрации, георадарное подконтурное сканирование, сейсмотомография), наземном (визуальные наблюдения, фотофиксация, геодезические съемки и измерения, лазерное и радарное поверхностное сканирование); воздушном (фото, тепловая и радарная аэрофотосъемки с применением БПЛА); спутниковом (GPS геодезия, оптические, спектральные и радарные снимки космических аппаратов), компьютерном (3D модели, геомеханическое, гидродинамическое и фильтрационно-деформационное моделирование, консолидация [10-11]).

Комплексирование таких методов обеспечивает эффект мультимасштабности: от микрочастиц, зерен, скелета грунта (миллиметровый уровень) до отдельных сооружений и гидротехнической системы в целом и (метры и километры) [11-12] (рис. 2).

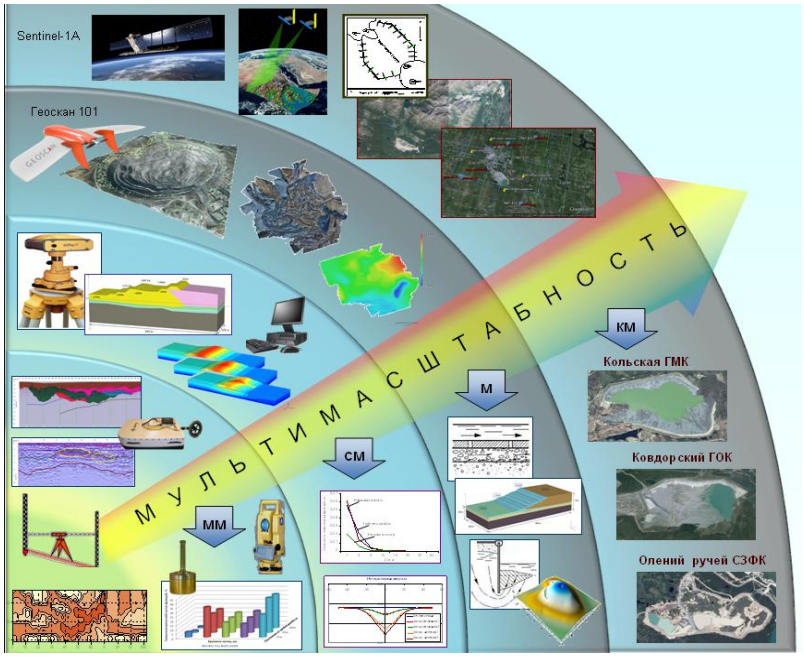

Рис. 2. Принцип мультимасштабности при комплексировании междисциплинарных методов и средств мониторинга гидротехнических сооружений

Методологические подходы к комплексированию междисциплинарных методов и средств для целей мониторинга апробированы применительно к гидротехническим сооружениям основных горнопромышленных предприятий Кольского полуострова [12-14].

В частности, на основе комплексирования данных георадарных, гидрогеологических, геофизических и инженерно-геологических исследований и спутниковых снимков раскрыт механизм инфильтрации из поверхностного отстойника промышленных вод в карьер, реализующийся в формировании в теле ограждающей насыпной дамбы трёх линзообразных зон с повышенными фильтрационными характеристиками.

На одном из горнодобывающих предприятий Кольского полуострова имеется поверхностный водоем – отстойник промышленных вод, который используется в качестве основного технологического звена в системе оборотного водоснабжения и водопонижения уровня грунтовых вод в карьере. Объем откачиваемой воды из карьера в отстойник (куда, помимо карьерного водоотлива, сбрасываются производственные сточные воды теплоэлектроцентрали и ливневые сточные воды с территории промышленной площадки карьера) достигает до 1,5-2,5 тыс.м^3/ч. Ориенти-

ровочный объем утечки воды из отстойника в карьер по разным оценкам составляет свыше 1 тыс.м^3/ч, при этом действующая система водопонижающих скважин перехватывает до 0,6 тыс.м^3/ч. Инфильтрация промышленных вод из отстойника обратно в карьер обуславливает осложнение технологических процессов как с технической, так и с экономической точек зрения, а также приводит к снижению устойчивости обводненных обнажений породного массива в районе размещенного на Восточном борте рудно-дробильного конвейерного комплекса.

С целью выявления зон повышенной инфильтрации из отстойника промышленных вод в основной карьер проведено комплексное обследование сложноструктурной ограждающей насыпной дамбы и акватории отстойника. Были комплексированы, систематизированы и обобщены результаты георадарного зондирования, архивных оптических спутниковых снимков за период 2006-2019 гг., геофизических и инженерно-геологических исследований грунтов, компьютерного 3D моделирования, а также данные о размещении подземно-наземных инженерных сооружений в районе отстойника.

По результатам комплексных исследований раскрыт механизм инфильтрации из отстойника промышленных вод в основной карьер, реализующийся посредством формирования трёх зон с повышенными фильтрационными характеристиками непосредственно в теле ограждающей насыпной дамбы и, кроме того, двух зон наиболее вероятной инфильтрации в северо-западной части акватории отстойника и четырех зон в теле восточной и западной дамб, и развития процесса инфильтрации под нарушенным слоем донных илистых и техногенных (насыпных) грунтов на границе их контакта с водно-ледниковыми отложениями в локализованных глубинных интервалах с распространением подземных вод в карьер по естественным системам трещин коренных пород.

Установление механизма и локализация зон повышенной инфильтрации позволили обосновать инженерно-технические противофильтрационные решения, которые были включены в основу проекта по обеспечению безопасности ведения открытых горных работ и модернизации сети промышленного гидрогеологического мониторинга.

Таким образом, по результатам выполненных исследований можно констатировать следующее. Созданы методологические основы комплексирования междисциплинарных методов для целей мониторинга гидротехнических сооружений, позволяющие реализовать принцип мультимасштабности: от структурных зерен скелета грунтов (миллиметры) до объекта в целом (десятки километров). В частности, комплексированием данных спутниковых снимков, георадарных, гидрогеологических, геофизических и инженерно-геологических исследований раскрыт механизм инфильтрации поверхностных вод из отстойника в карьер Ковдорского ГОКа, что позволило обосновать инженерно-технические противофильтрационные мероприятия. Мониторинг гидротехнических сооружений на основе комплексирования междисциплинарных методов реализован на основных горнопромышленных предприятиях Кольского полуострова.

Библиографический список

1. *11 самых ужасных аварий на дамбах в мире.* – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vestifinance.ru/articles/81282 (дата обращения: 12.12.2019)

2. *Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В.* Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. № 1. – С. 13-20.

3. *Данилкин А.А., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Максимов Д.А.* Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа // ГИАБ. – 2014. – № 7. – С. 344-352.

4. *Gilyarova A.A., Kalashnik A.I., Smirnova O.V.* Feasibility study of geo-engineering investigations of mine tailings conditions // Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety. – 2016. – Vol. 10. – Pp. 377-383.

5. *Максимов Д.А., Калашник А.И.* Экономические тенденции изысканий и мониторинга накопителей жидких горнопромышленных отходов в арктической зоне для целей декларирования их промышленной безопасности // Север и рынок. – 2018. – №1 (57). – С. 74-85.

6. *Козырев А.А., Калашник А.И., Каспарьян Э.В., Савченко С.Н.* Концепция организации геодинамического мониторинга нефтегазовых объектов западного сектора Российской Арктики // Вестник МГТУ: Тр. Мурман. гос. тех. университета. – 2011. – Т. 14. № 3. – С. 587-600.

7. *Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А.* Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 1. – С. 39-49.

8. *Калашник А.И., Запорожец Д.В., Калашник Н.А.* Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища // Вестник КНЦ. – 2013. – № 2. – С. 13-17.

9. *Мельников Н.Н., Калашник А.И.* Создание многоуровневой системы геодинамического мониторинга горнотехнических и нефтегазовых объектов западной части российского сектора Арктики // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 3 (19). – С. 66-75.

10. *Калашник А.И.* Методология применения информационных технологий при освоении минерально-сырьевых ресурсов Кольского полуострова. Наука и образование. 10 лет вместе. – Апатиты, изд. КНЦ РАН, 2005. – С. 132-139.

11. *Калашник А.И., Калашник Н.А.* Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия // Вестник КНЦ. – 2013. – № 1. – С. 27-30.

12. *Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В.* Исследование состояния насыпного гидротехнического сооружения на моренном основании // Ученые записки ПетрГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – №6 (143). – С. 92-98.

13. *Калашник А.И., Гилярова А.А., Калашник Н.А., Максимов Д.А., Смирнова О.В.* Экономические аспекты исследований состояния гидротехнического сооружения (ГТС) накопителя жидких промышленных отходов // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2015. – № 6. – С. 23-26.

14. *Калашник А.И., Гилярова А.А., Калашник Н.А., Смирнова О.В.* Структура затрат на исследования состояния ГТС накопителей жидких промышленных отходов Кольского региона // Арктика: экология и экономика. – 2015. – №4 (20). – С. 96-103.

METHODOLOGICAL BASIS FOR INTEGRATION OF INTERDISCIPLINARY METHODS FOR MONITORING OF HYDRAULIC STRUCTURES

A.I. Kalashnik, *Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory*
Mining Institute of the Kola Science Centre of RAS
(Russia, Apatity)

Abstract. *Methodological bases for the integration of interdisciplinary methods for monitoring hydraulic structures as open dynamic natural and technical systems have been developed. An example of the implementation of the methodology of monitoring filtration processes and revealing the mechanism of infiltration of surface water basin waters into the quarry is given.*

Keywords*: Monitoring, hydrotechnical facilities, interdisciplinary methods, integration, methodology.*