

Санкт-Петербургский государственный университет
Институт наук о Земле
ООО «Водный центр СПбГУ»
МОО «Крымская Академия наук»

**ГЕОЛОГИЯ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КРЫМА
ПОЛЕВЫЕ ПРАКТИКИ В СИСТЕМЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Материалы Шестой Всероссийской конференции
29 августа – 8 сентября 2022 г.
Республика Крым

Под редакцией В.В. Аркадьева



Издано за счет средств ООО «Водный центр СПбГУ»
Санкт-Петербург
2022

УДК 551+556 (234.86)
ББК 26.32+26.35

Организация и проведение конференции поддержаны Институтом наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Водным центром СПбГУ и Крымской Академией наук

Геология и водные ресурсы Крыма. Полевые практики в системе Высшего образования. Материалы конференции / Под редакцией В.В. Аркадьева – Санкт-Петербург, Изд-во ЛЕМА, 2022. - 289 с.

ISBN 97 8-5-00105-695-9

Сборник содержит разнообразные, в том числе новые материалы по геологии, палеонтологии, магнитостратиграфии, гидрогеологии и лечебным ресурсам Крыма. Рассмотрены вопросы организации и проведения учебных геологических, геофизических, гидрогеологических, минералогических, нефтегазовых, экологических, ботанических, географических, археологических и океанологических практик в различных ВУЗах России. Отдельный раздел сборника посвящен геологическим, геоэкологическим, ботаническим и археологическим экскурсиям, научному туризму. Сборник предназначен для преподавателей, занимающихся организацией различных полевых практик, геологов широкого профиля и студентов.

На 1-ой и 4-ой страницах обложки – вид на Коктебельский залив и мыс Хамелеон

ISBN 978-5-00105-695-9

© Коллектив авторов, 2022

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ДАМБЫ – ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТА В РАМКАХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ МАГИСТРОВ

Пряхина Г.В.¹, Попов С.В.^{2,1}, Распутина В.А.¹, Кашкевич М.П.¹, Свирепов С.С.¹,
Боронина А.С.^{3,1}, Акилов Е.В.³

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, g65@mail.ru, lerasputina88@gmail.com, kashmar1972@mail.ru, svirepovss@yandex.ru*

²*Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Санкт-Петербург, spopov67@yandex.ru*

³*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, al.b.s@yandex.ru, akilov.evg@yandex.ru*

PHYSICAL MODELLING OF THE EARTH DAM DESTRUCTION – EXPERIMENT WITHIN THE RESEARCH PRACTICE OF MASTER'S STUDENTS

Pryakhina G.V.¹, Popov S.V.^{2,1}, Rasputina V.A.¹, Kashkevich M.P.¹, Svirepov S.S.¹,
Boronina A.S.^{3,1}, Akilov E.V.³

¹*St Petersburg State University, St Petersburg, g65@mail.ru, lerasputina88@gmail.com, kashmar1972@mail.ru, svirepovss@yandex.ru*

²*Polar Marine Geosurvey Expedition, St Petersburg, spopov67@yandex.ru*

³*State Hydrological Institute, St Petersburg, al.b.s@yandex.ru, akilov.evg@yandex.ru*

Разрушение грунтовых плотин как естественного, так и искусственного происхождения обусловлено определёнными критическими условиями. Основными причинами при этом являются: перелив потока через гребень плотины, фильтрация воды сквозь её тело или механическое разрушение. В результате разрушения дамб формируются прорывные паводки, сопровождающиеся значительными разрушениями, а порой и человеческими жертвами. Так как выполнить достоверные измерения в процессе прорыва реального водного объекта практически невозможно и весьма опасно, то для более детального понимания природы формирования катастрофического явления, характера протекания изучаемого процесса, определения количественных характеристик целесообразно использовать метод физического моделирования. Этот метод позволяет более полно и детально феноменологически описать процесс разрушения грунтовых плотин, выявить факторы, влияющие на него в естественных условиях, получить необходимые параметры для математической модели, разработать методики расчёта развития прорыва в теле грунтовой плотины (Hanson, 2005; Пряхина, 2019). В рамках научно-исследовательской и преддипломных практик магистров Института наук о Земле СПбГУ проведена серия физических экспериментов по формированию прорывного паводка вследствие разрушения плотины. При экспериментах была сделана попытка использования геофизических методов исследования для оценки возможности осуществления мониторинга состояния плотины при переливе.

Материалы и методы исследования

Эксперименты по физическому моделированию прорыва искусственного водоёма, подпруженного грунтовой дамбой, проводились в феврале и октябре 2020 г., а также апреле 2021 г. на территории учебно-научной базы «Приладожская» Санкт-Петербургского государственного университета недалеко от посёлка Кузнечное Приозерского района Ленинградской области. В общей сложности было проведено восемь экспериментов. Искусственный водоём представлял собой ёмкость, выполненную из монолитного поликарбоната, размерами 1×1×1.5 м, состоящую из двух отсеков (рис. 1). Первый, размером 1×1×0.6 м, заполнялся водой. Во втором сооружалась дамба. Между отсеками была установлена перегородка с прямоугольным отверстием (0.05×0.15 м) для перетекания воды. Во время заполнения первой ёмкости до начала эксперимента отверстие закрывалось затвором. Для фиксации уровня воды на стенке первой ёмкости была установлена мерная

шкала. Плотины в экспериментах состояли из смеси песка и гранитной крошки естественной влажности и имели призматическую форму, а их размеры отличались незначительно.

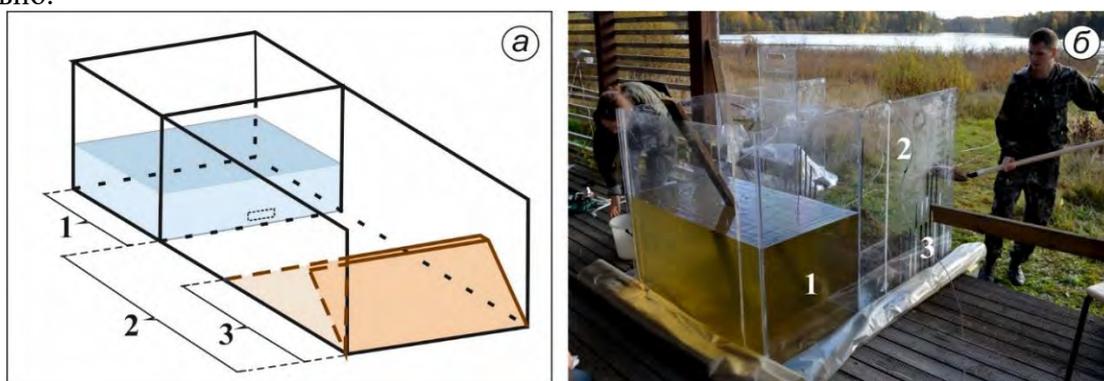


Рис. 1. Экспериментальная установка. а – схема, б – фото (10.10.2020 г., автор фото: Боронина А.С.).
Условные обозначения: 1 – отсек для воды, 2 – отсек для сооружения дамбы, 3 – дамба.

Результаты физического моделирования

В первых трёх экспериментах рассматривался процесс разрушения дамбы в результате перелива воды через её гребень. Во избежание размыва плотины на контакте со стенками установки дополнительно добавлялась глина, а в центре дамбы была сделана начальная прорезь шириной 2 см и глубиной 2.5 см. В этом случае процесс прорыва, инициированный переливом воды через гребень и образованием струйного течения воды по телу плотины (рис. 2а), протекал следующим образом. В начале эксперимента формирование прорана происходило только путем его углубления (рис. 2б). Затем, при увеличении скоростей потока, началось развитие прорана как в ширину, так и в глубину (рис. 2в-е). Во время прорыва также наблюдалось обрушение грунтового материала с бортов прорана. В результате проран сформировался на всю высоту плотины. Максимальная ширина составила 0.35 м, средняя 0.3 м.

Эксперименты, выполненные весной 2021 г., моделировали разрушение плотины в результате образования фильтрационного канала в теле дамбы. Было проведено пять экспериментов. Для инициации процесса расширения канала в тело плотины закладывалась труба диаметром 1 см, которая была вынута после поступления воды в ёмкость. При открытии затвора (рис. 3а) вода поступала во вторую ёмкость и сразу начинала движение по иницированному каналу. Далее происходило расширение отверстия и увеличение расходов воды. На 40 секунде (рис. 3б) продолжалось расширение канала и углубление вреза на откосе. Через 60 секунд после начала эксперимента (рис. 3в) фильтрационный канал прекращал своё расширение, наблюдалось снижение расходов воды. К 98 секунде (рис. 4г) эксперимент был завершён.

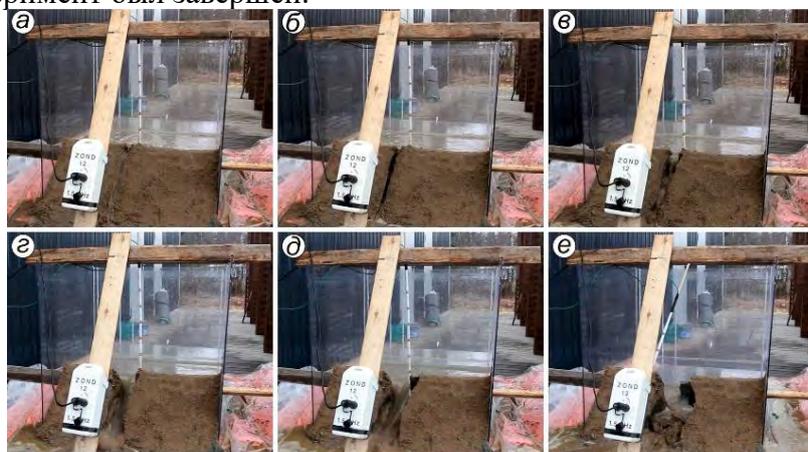


Рис. 2. Разрушение плотины в результате перелива (ход эксперимента во времени)

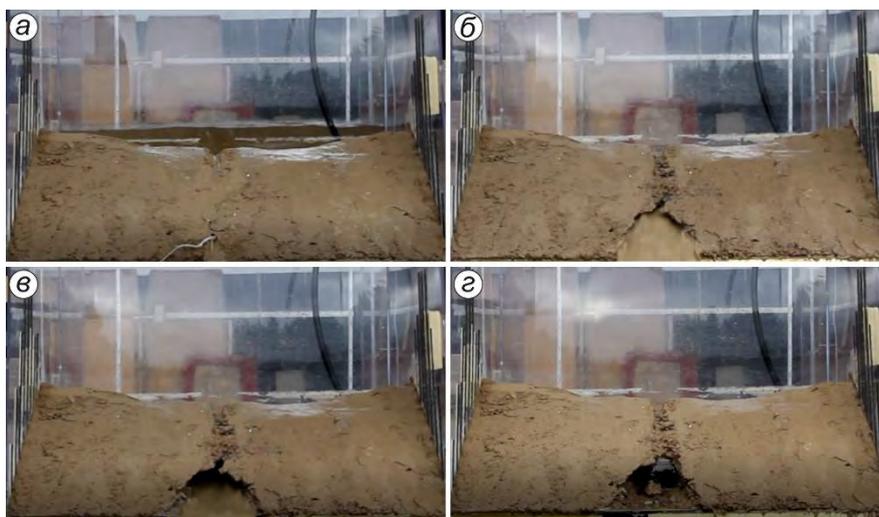


Рис. 3. Разрушение плотины в результате образования фильтрационного канала (ход эксперимента во времени)

По результатам экспериментов были построены гидрографы прорывных паводков, а в дальнейшем данные экспериментов использовались для верификации разработанных математических моделей.

Геофизические исследования

Гидрологические наблюдения сопровождалось георадарными измерениями, поскольку они позволяют осуществлять мониторинг состояния плотины в дистанционном режиме, не внося значимых искажений в наблюдаемый процесс. В работах применялся Zond 12e (RadSys, Латвия) с антенным блоком, осуществлявшим зондирования на частоте 900 МГц. Антенна располагалась параллельно передней стенке плотины под углом 30° от вертикали на расстоянии 70 см от стенки. На рис. 4 представлено изменяющееся во времени волновое поле при лоцировании дамбы в одном и том же месте (рис. 2). Оно осложнено многочисленными отражениями от стенок лабораторной установки, которые, интерферируя с целевыми границами, существенно осложняют интерпретацию полученных данных. Тем не менее, в поле выделяются чёткие отражения, характер которых меняется с течением времени в ходе эксперимента. Это означает, что гидрологические процессы в дамбе, в частности боковая фильтрация воды в грунт, регистрируются методом георадиолокации.

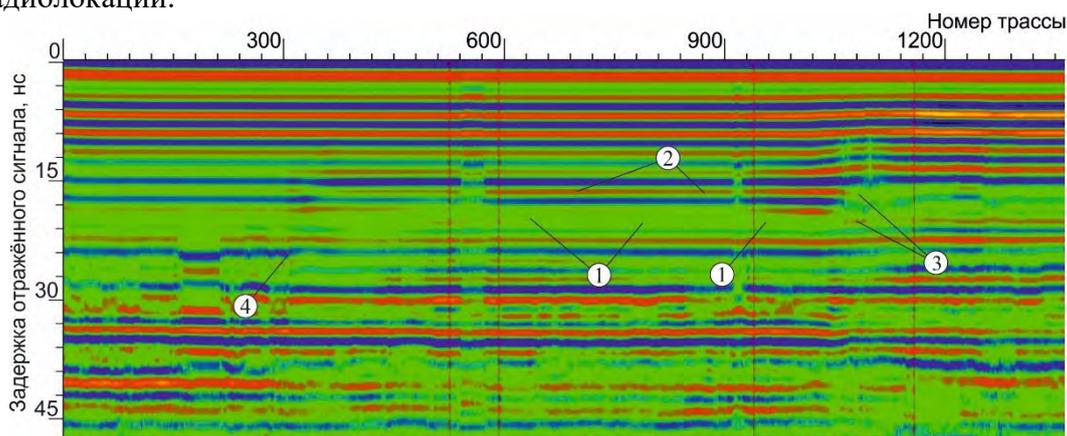


Рис. 4. Волновое поле, полученное в ходе эксперимента по разрушению плотины в результате перелива. Обозначения: 1 – отражение от контакта задней стенки плотины и воды, которое появилось после открытия заслонки; 2 – увеличение интенсивности отражения от тела плотины по мере роста влагонасыщенности; 3 – потеря корреляции в результате разрушения плотины; 4 – момент открытия заслонки и заполнения резервуара водой

После открытия заслонки и заполнения прилегающего к плотине резервуара водой на временном разрезе появилось отражение 1, предположительно сформированное задней стенкой плотины, т. е. контакт плотины и воды. В момент разрушения плотины оно пропало ввиду того, что вода полностью вытекает из резервуара. Отражение 2 сформировано телом плотины. По мере насыщения её водой, оно постепенно становилось контрастнее за счёт увеличения разницы между диэлектрическими проницаемостями воздуха и песка, насыщающегося водой. Отражение 3 сформировано процессом обрушения тела плотины. В этот момент происходит резкая потеря корреляции и разрушение регулярности волнового поля, что приводит к появлению дифрагированных волн от углов и стенок прорана.

Следует отметить, что наблюдаемое волновое поле крайне сложно для интерпретации. Отражения формируются не только вертикальными стенками лабораторной установки, но и нижними плоскостями, а также от плотины и от слоя воды за ней. Электромагнитные волны, распространяясь в среде, интерферируют друг с другом и по времени разделить их достаточно сложно. Также следует учитывать, что после прорыва плотины положение постоянных отражающих границ (в данном случае стенок установки и нижней плоскости) на волновом поле изменяется, поскольку изменяется скорость распространения электромагнитных волн в среде, так как они проходят по воздуху, а не через тело плотины и слой воды за ней. Однако, несмотря на указанные сложности в интерпретации данных, характерные изменения волнового поля в ходе эксперимента отражают протекающие гидрологические процессы: 1) наполнение водой пространства между задней стенкой плотины и стенкой бака после открытия заслонки, 2) пропитывание водой тела плотины, 3) разрушение тела плотины.

Анализируя полученные геофизические данные, необходимо отметить, что выбранные методы оправдали себя в качестве дистанционных способов изучения процессов, протекающих в теле плотины. На радарограмме отражаются как процессы фильтрации, так и сам момент разрушения плотины. Пока это только первые опыты, и интерпретация проведена лишь на качественном уровне.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00343 А «Выявление особенностей протекания процесса прорывов озёр оазисов Антарктиды на основе данных полевых исследований и математического моделирования».

Литература

- Пряхина Г.В., Боронина А.С., Попов С.В. и др.* Физическое моделирование разрушения грунтовой дамбы водохранилища в процессе переполнения водоема // Изв. РГО. 2019. Т. 151. Вып. 2. С. 51–63.
- Hanson G.J., Cook K.R., Hunt S.L.* Physical modeling of overtopping erosion and breach formation of cohesive embankments // Transactions of the ASABE. 2005. V. 48 (5). P. 1783–1794.