

РИСК МОЖЕТ СТОИТЬ СЛИШКОМ ДОРОГО: ИЗ ОПЫТА ИТАЛИИ. ЧАСТЬ 1



Значимость адекватного выполнения инженерных изысканий, компетентной интерпретации их результатов и полноценного использования полученных данных при проектировании слишком часто недооценивается заказчиками, инвесторами и проектировщиками. Однако до них необходимо вновь и вновь доносить информацию о том, что риск, связанный с неполноценными изысканиями, может слишком дорого стоить как в финансовом плане, так и в отношении безопасности людей. Мы продолжаем обсуждать эти вопросы на страницах нашего журнала – на этот раз на примере опыта Италии, который, возможно, является наиболее показательным для нынешней России. В данной заметке рассматривается катастрофа на плотине Вайонт, произошедшая в 1963 году.

Аналитическая служба

Важнейшим элементом любого строительного процесса является получение достоверной информации об условиях площадки размещения будущего объекта с помощью инженерных изысканий. Однако значимость адекватного выполнения этих исследований и полноценного использования их результатов при проектировании слишком часто недооценивается. Стремясь сэкономить на изысканиях, заказчики не осознают, что уподобляются игрокам в «русскую рулетку». Если повезет, то они сэкономят небольшую

часть своих денег. Если же нет, то дополнительные расходы значительно превысят стоимость качественных и достаточных инженерных изысканий. Причем иногда риск может стоить слишком дорого – когда речь идет уже не только о деньгах, но и о безопасности людей. Продолжая обсуждать эти вопросы, рассмотрим опыт Италии – возможно, наиболее показательный для современной России.

В свое время итальянские архитекторы и строители прославились как искусные мастера, о чем говорят исторические объекты не только в самой Италии (рис. 1), но и в городах других государств, например в Санкт-Петербурге. Однако в истории и этой страны был период, когда ее строительные организации пренебрегали нормами возведения зданий и сооружений, экономя на всем подряд [1–4].



Рис. 1. Флоренция. Италия [5]

Когда Италия пришла в себя после Второй мировой войны, в 1950–1960-х годах в ней наблюдался настоящий строительный бум, однако за работы часто брались компании, не имевшие опыта ни в инженерных изысканиях, ни в проектировании, ни в строительстве. Нормативная база была далека от совершенства. Изысканиями либо вообще пренебрегали, либо выполняли их при минимальных расходах, проекты удешевлялись до неприемлемых уровней, при строительстве использовались дешевые материалы и низкооплачиваемые неквалифицированные работники. В результате в стране стало происходить много аварий и обрушений, причем не только во время строительства, но и спустя годы. И потери иногда были огромными [6, 7].

Плотина Вайонт

Самой страшной была катастрофа на плотине Вайонт в 1963 году, ставшая хрестоматийным примером последствий непонимания руководством компании, выполнявшей строительство, сути проблемы, с которой она имела дело.

Высота плотины составляла 261,6 м, длина по гребню – 190 м, ширина по гребню – 3,9 м, ширина в основании – 23 м. На тот момент это была самая высокая в мире тонкая арочная бетонная плотина (рис. 2). Система Вайонт предназначалась для выработки электроэнергии для быстро развивавшихся северных городов страны – Милана, Турина и Модены. Она размещалась в узком альпийском ущелье на реке Вайонт (притоке реки Пьяве) на северо-востоке Италии. Одним из бортов образованного плотиной водохранилища был склон горы Ток, про нестабильность которого знали даже местные жители. Обвалы и оползни возникали там неоднократно.

О создании водохранилища и гидроэлектростанции в долине Вайонт начали думать уже в 1920-е годы, но этому помешали сложности предвоенных лет и Вторая мировая война. Однако в 1928 году там были выполнены некоторые инженерно-геологические исследования для подготовки первоначального проекта, который был утвержден в 1943 году.



Рис. 2. Плотина Вайонт со стороны нижнего бьефа [8]

Небольшие дополнительные изыскания, проведенные в 1948 году, продемонстрировали необходимость выполнения более широких и подробных исследований по всей долине (включая бурение разведочных скважин и проходку тоннелей), но эти работы начались лишь в январе 1957 года – когда уже шло строительство. Однако основное внимание при этом было уделено удержанию воды плотиной и проницаемости ее основания, а вовсе не стабильности склонов вокруг водохранилища, хотя геологи и местное население еще до начала строительных работ высказывали опасения по этому поводу.

Строительство началось с земляных работ в 1956 году, причем без официального одобрения со стороны правительства. Его выполняла Адриатическая энергетическая корпорация (SADE) – крупная частная компания, имевшая коррупционные связи с правительством.

В 1957 году, чтобы повысить в будущем выработку электроэнергии и увеличить инвестиции и прибыль до грядущей национализации объекта, SADE предложила сделать плотину на 61 м выше по сравнению с первоначальным проектом, что увеличивало объем водохранилища почти в три раза (с 58 до 169 млн куб. м), – и на это было получено разрешение правительства. Но не было выполнено специальное инженерно-геологическое исследование последствий такого колоссального изменения в проекте.

Все же возможная нестабильность склона горы Ток несколько беспокоила главного инженера проекта, и в 1958 году был проведен ряд небольших исследований по этому поводу, но без особых результатов.

А 22 марта 1959 года произошло событие, которое напугало многих, – сошел оползень объемом 10 млн куб. м в водохранилище Понтезеи, которое было в 16 раз меньше Вайонтского, располагалось всего в 10 км и строилось той же компанией. При этом образовалась 20-метровая волна, которая перелетела через плотину и разрушила близлежащий мост, погубив одного рабочего.

После этого протесты местного населения против строительства плотины Вайонт вспыхнули с новой силой, но они подавлялись полицией. А когда в газете l'Unità появилась статья с предположением о том, что авария на плотине Понтезеи может повториться в Вайонтской системе, но в гораздо более серьезных масштабах, компания SADE подала судебный иск против автора этой публикации за ложь и клевету.

Однако SADE все же пригласила трех независимых экспертов для еще одного небольшого инженерно-геологического исследования территории вокруг водохранилища Вайонт. Тем более что в 1959 году при строительстве новой дороги на склоне горы Ток были замечены первые трещины и подвижки грунта.

Проблема была проигнорирована

В 1960 году австрийский инженер Леопольд Мюллер и итальянские геологи Эдуардо Семенца и Франко Джудичи выдвинули предположение о наличии доисторического оползня на этом склоне и о его потенциальной нестабильности. Они подчеркнули, что при полном заполнении водохранилища с горы может сорваться глубокий оползень объемом до 200 млн куб. м. Однако главный инженер системы Вайонт попросил их «смягчить» выводы в своем отчете под предлогом необходимости проверки высказанных гипотез с помощью более подробных исследований.

При этих «более подробных» исследованиях были пробурены всего три скважины, которые были неглубокими и не выявили ослабленные зоны в толще известняков. Был также выполнен недостаточно детальный сейсмический анализ, который ошибочно показал, что окружающие водохранилище склоны в целом сложены очень прочными

скальными породами с высоким модулем упругости. В итоге были сделаны поспешные выводы о том, что доказательства наличия древнего оползня отсутствуют, склон горы Ток достаточно стабилен и с него могут сходить лишь небольшие оползни из более рыхлых поверхностных слоев пород. К тому же, поскольку чаша водохранилища находилась на дне корытообразной синклинали, частично разрезанной долиной реки, предполагалось, что любая плоскость сдвига внутри склона будет иметь форму стула, в результате чего скорость схода возможных оползней будет небольшой.

Заполнение водохранилища началось в феврале 1960 года – до окончательного завершения строительства плотины (которое произошло только в сентябре). Через какое-то время вновь были замечены подвижки грунта на склоне горы Ток. Был начат их геотехнический мониторинг. В октябре скорость смещений достигла 3,5 см/сут. Более того, на расстоянии примерно 1 км от уреза воды на склоне открылась серповидная трещина длиной почти 2 км (см. рис. 2).

4 ноября того же года после недели сильных дождей при глубине воды в водохранилище 180 м в него примерно за 10 минут сошел оползень объемом 700–800 тыс. куб. м. После этого вышеупомянутая двухкилометровая трещина раскрылась еще больше. Тогда испугавшиеся инженеры SADE предприняли новые исследования в поисках решения назревавших проблем.

Теперь они уже догадывались, что искусственно остановить подвижки грунта на склоне невозможно, и предположили, что в ближайшем будущем с него может сойти новый оползень, который разделит водохранилище пополам. На этот случай компания SADE построила обводной тоннель для соединения двух половин водоема между собой, чтобы объем воды для выработки электроэнергии был достаточным. На проходку тоннеля был потрачен 1 млрд итальянских лир (ITL), что тогда соответствовало 1,6 млн долларов США (USD). Причем эти работы были начаты опять до получения официального разрешения. Также была поставлена цель не допустить ускорения подвижек грунта. Считалось, что, если крупный оползень будет сходить в водохранилище постепенно, то можно будет успеть понизить уровень воды с помощью водосбросных тоннелей и перелива через верх плотины не произойдет. Для замедления смещений три раза осторожно снижали уровень, но потом снова медленно повышали его еще больше, чтобы в конце концов достигнуть проектного заполнения резервуара. Сначала все получалось, и у инженеров появилась иллюзия того, что они полностью контролируют ситуацию.

Кроме того, для прогнозирования последствий схода особо крупного оползня компания SADE в 1961–1962 годах спонсировала проведение гидравлического исследования на модели водохранилища и плотины (1/200 от реального размера) в Университете Падуи. Моделирование показало, что высота волны от схода оползня объемом до 40 млн куб. м за время более 1,5 мин. не превысит 25 м над уровнем водоема – надо лишь сделать так, чтобы до верха плотины оставался соответствующий незаполненный запас.

Нашлись эксперты, призвавшие провести дополнительные исследования, чтобы подтвердить или опровергнуть такие выводы, однако SADE этого не сделала. А ведь, как оказалось позже, «наихудший» модельный сценарий был во много раз недооценен.

В декабре 1962 года было создано Итальянское национальное агентство по электроэнергетике (ENEL), которое к июлю 1963 года объединило все частные компании отрасли, включая SADE. Вайонтский комплекс был национализирован. Но менеджеры SADE остались в его руководстве. И никто из управленческой команды ENEL/SADE не пытался выявить недостатки системы Вайонт в процессе передачи активов.

Катастрофа

Чтобы продемонстрировать правительству, что проект может быть полнофункциональным, к осени 1963 года водохранилище было заполнено почти до предела (до 245 м). Но к этому времени общее смещение грунта на нестабильном склоне превысило 3 м и его скорость продолжала увеличиваться. Тогда национальная компания ENEL приняла решение вновь снизить уровень водохранилища, чтобы замедлить подвижки, но было поздно.

6 октября 1963 года дорога, шедшая по склону горы Ток вдоль водохранилища, полностью деформировалась и стала непригодной для использования. На следующий день в этой зоне наклонились деревья и появились новые трещины. Жители небольших селений, расположенных над водохранилищем выше плотины, заметили трещины в своих домах и были эвакуированы. Однако ничего не было предпринято для предупреждения и эвакуации рядовых сотрудников ENEL/SADE, находившихся в зоне плотины, и жителей нижележащих долин.

К 9 октября 1963 года глубина водохранилища была понижена до 235 м. Однако скорость смещений нестабильного склона выросла до 20–30 см/сут. Деревья над оползневой зоной начали падать одно за другим. Контроль над подвижками был явно потерян (возможно, манипуляции с изменениями уровня водохранилища даже приблизили катастрофу).

Однако запас от поверхности воды до верхнего края плотины превышал предсказанные моделированием 25 м и персонал ENEL/SADE был уверен, что даже при окончательном сходе оползня в водоем ничего страшного не произойдет.

Примерно в 22-35 по гринвичскому времени в водохранилище со скоростью до 30 м/с сорвалась часть горы Ток длиной вдоль водохранилища до 2 км и шириной до 1 км. За 45 секунд оползневый материал объемом 260–270 млн куб. м полностью перекрыл водоем, заполнив его до уровня 400 м от бывшего дна, и даже на 140 м заехал на противоположный берег, пройдя общее расстояние до 500 м (рис. 3).



Рис. 3. Трещина на склоне горы Ток, открывшаяся в октябре 1960 года [8]

В результате почти моментального схода оползня (всего за 45 с) образовалась расходящаяся во все стороны гигантская волна вымещенной воды. На противоположном от оползшего склона берегу она разрушила дома эвакуированных жителей деревни Кассо, располагавшейся на высоте 260 м над уровнем водохранилища. Но самое страшное, что вытесненная вода поднялась над гребнем плотины на высоту до 250 м, переклестнула через него и почти 50 млн куб. м воды смертоносным валом пронесли вниз по долинам рек Вайонт и Пьяве, двигаясь со скоростью до 12 м/с и сметая все на своем пути. Первыми погибли десятки работников ENEL/SADE, находившихся на гребне плотины и в здании наблюдательного пункта, а также весь обслуживающий персонал системы Вайонт, работавший в служебных помещениях за нижним бьефом. В долинах высота воды составляла сначала 90, а потом 20 м, но и этого было более чем достаточно, чтобы затопить и разрушить городок Лонгароне, селения Пираджо, Ривальта, Вилланова, Фаэ и другие (рис. 4). Всего при этом, по разным источникам, погибло от 1,9 до 3 тыс. человек. Этот кошмар длился всего 7 минут. Живых свидетелей трагедии не осталось. Сама же плотина при этом устояла – волна снесла только верхний метр ее кромок.



Рис. 4. Плотина и водохранилище Вайонт до (а) и после (б) катастрофы [8]

В связи с масштабом бедствия были мобилизованы аварийные службы итальянской армии и международные силы. Более 10 000 человек, включая добровольцев, и огромные ресурсы техники и средств выживания были отправлены на место трагедии для спасения местного населения, а также для инактивации опасных веществ, высвободившихся при разрушении промышленных предприятий. Из-под слоя грязи и обломков было спасено 73 человека и найдено около 1 600 тел погибших. Остальные пропали без вести.

Сумма материального ущерба превысила 1 млрд ITL (1,6 млн USD) в ценах 1963 года.

Ошибки при изысканиях

После катастрофы был предпринят огромный объем работ по выяснению ее причин. Прежде всего был назван неудачный выбор места для строительства плотины. При удешевленных и торопливых изысканиях на склоне горы Ток не были выявлены глубоко залегавшие тонкие (5–15 см) слои глин между мощными толщами известняков с падением в сторону водохранилища. Уже после трагедии было обнаружено, что плоскость (зона) смещения огромного оползня прошла именно по этим глинам, отделявшим верхнюю толщу мергелей и мергелистых известняков от нижележащих прочных и относительно

водоупорных доломитизированных известняков. Устойчивость нарушилась из-за того, что грунтовые воды, поднявшиеся снизу после заполнения водохранилища, и влага, просочившаяся сверху после сильных дождей лета и осени 1963 года, снизили сопротивление сдвигу в глинистых слоях. Этому мог сильно поспособствовать нагрев поровой воды от трения. Нельзя исключить и возможность воздействия слабых землетрясений, случающихся в тех местах.

Есть также мнение, что плоскость смещения не была единой и сход оползня произошел «хрупким образом». Катастрофическая потеря прочности произошла не только в глинистых слоях, но и в подошве залегавших над ними достаточно слабых мергелей и мергелистых известняков, поскольку именно в этой зоне происходили основные потоки грунтовых вод (рис. 5).



Рис. 5. Долина реки Пьяве после катастрофы [8]

Некоторые исследователи утверждали, что это была активизация старого оползня. Доказательством могло послужить то, что при строительстве обводного туннеля глубоко внутри горы были обнаружены участки с измельченными породами, напоминавшими зоны сдвига.

Упорные отказы руководителей SADE и ENEL, а также правительственных чиновников от более широкого и тщательного изучения инженерно-геологических условий территории Вайонтского водохранилища были основаны на нежелании взять на себя ответственность за дополнительные расходы и уменьшение прибыли, а то и за потерю всего в случае полного закрытия проекта. Из-за страха и спешки они вели работы с большими нарушениями норм и законодательства и не знакомили с отчетами по дополнительным изысканиям и с предупреждениями экспертов ни инспекторов плотины, ни правительство, ни собственный персонал, ни местных жителей.

Таким образом, Вайонтская катастрофа продемонстрировала всему миру, что в подобных случаях виновата не природа, а человеческая жадность, беспринципность и глупость. После трагедии было заведено уголовное дело по поводу непредумышленного убийства большого количества людей, поскольку оползень и наводнение были сочтены предсказуемыми. Разбирательство шло долго, и только в феврале 1968 года в суд было вызвано 11 инженеров и руководителей ENEL и SADE, а также государственных чиновников. Трое из них не дожили до вынесения приговора – один из ведущих инженеров SADE покончил с собой, а еще у двоих не выдержало здоровье. Тюремный срок получил только главный инженер проекта, однако 5 лет его заключения позже были заменены на 1 год.

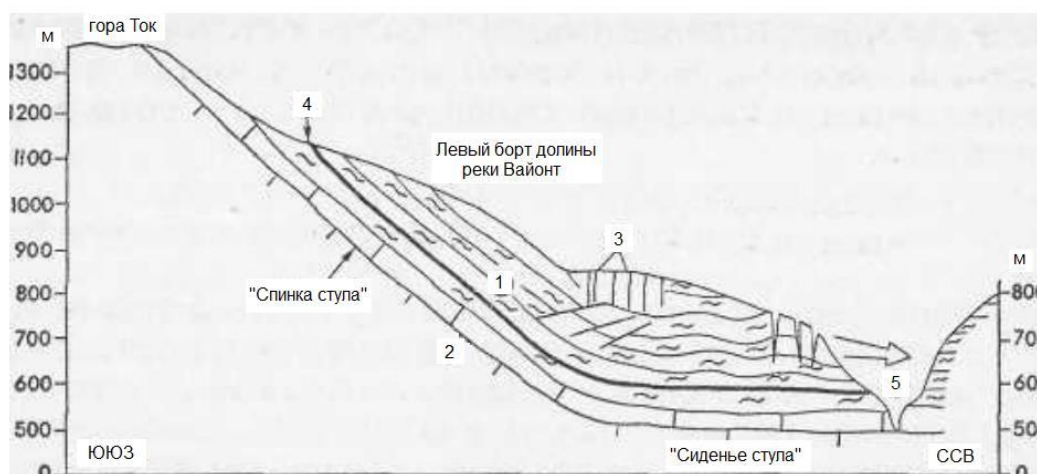


Рис. 6. Геологический разрез левого берега водохранилища Вайонт до катастрофы (по [9]): 1 – пачка мергелей и мергелистых известняков, склонных к оползанию; 2 – частично водоупорный прочный доломитизированный известняк; 3 – трещины; 4 – плоскость смещения будущего оползня с тонкими прослоями глинистых грунтов вдоль нее; 5 – устье реки Вайонт и чаша водохранилища; стрелка – направление движения оползня

Все выжившие, но пострадавшие при катастрофе получили от итальянского правительства компенсации за нанесенный ущерб. Также была разработана программа развития региона. Жители долины Пьяве получили субсидии на открытие собственного бизнеса и были освобождены от уплаты налогов на 10 лет. На строительство города Лонгароне на прежнем месте итальянское правительство выделило 1 800 млрд ITL (2 880 млн USD). Правительство Италии не подало в суд на SADE и ENEL для возмещения убытков. И только в 1982 году Апелляционный суд Флоренции вынес решение о том, что эти компании должны компенсировать материальный, нематериальный, экологический и

моральный ущерб итальянскому правительству и муниципалитетам пострадавших населенных пунктов, а Верховный суд Италии утвердил этот вердикт. SADE выплатила городу Лонгароне 1,686 млрд ITL (1,012 млн USD) вместе с процентами и затратами на судебные издержки, а ENEL отдала муниципалитетам Эрто, Кассо и Вайонта 1,481 млрд ITL (0,889 млн USD).



Рис. 7. Плотина Вайонт со стороны верхнего (а) и нижнего (б) бьефов в наши дни [16, 17]

Водохранилище Вайонт никогда не было восстановлено – значительная его часть так и заполнена оползневой массой. Плотина же была отремонтирована, и с 2002 года ее могут посещать туристы (рис. 7) [8–19].

Список литературы и других источников

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Экономика_Италии.
2. Добров Д. Италия – слабое звено Евразии // ИНОСМИ.РУ. 01.08.2017.
3. <http://immobiliare-russo.com/proektirovanie-stroitelstvo-domov-kvartir-v-italii>.
4. <http://fb.ru/article/195454/arhitektoryi-sankt-peterburga---kto-oni>.
5. <http://lowkee.com/all/v-poiskah-nastoyaschey-toskany-florenciya-i-piza/>.
6. <https://enki.ua/articles/samye-masshtabnye-razrusheniya-zdaniy-v-mire-chast-2-3009>.
7. <https://maistro.ru/articles/stroitelnyj-konstrukcii/krupnejshie-obrusheniya-stroitelnyh-konstrukcij-v-mirovoj-istorii>.
8. Petley D. Landslide information. The Vajont (Vaiont) Landslide: lecture notes // land-man.net. 13.08.2006.
9. Müller L. The rock slide in the Vaiont valley // Felsmechanik und Ingenieur-geologie. 1964. Vol. 2. P. 148–212.
10. Chernov D., Sornette D. Man-made catastrophes and risk information concealment: case studies of major disasters and human fallibility. Zurich, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016.
11. <https://foto-history.livejournal.com/4183591.html>.
12. <https://www.lektorium.tv/vopros-131-pro-tehnogennuyu-katastrofu>.
13. <http://namtaru.ru/navodneniya/item/349-plotina-vajont-italiya-1963.html>.
14. <http://animalworld.com.ua/news/Mirovyje-katastrofy-11-samyh-uzhasnyh-avarij-na-dambah>.
15. https://ru.wikipedia.org/wiki/Плотина_Вайонт.
16. http://www.libma.ru/geologija_i_geografija/kamennyi_drakon/p4.php.
17. <http://yablor.ru/blogs/plotina-vayont/695260>.
18. <https://alternativenergy.ru/energiya/688-avarii-na-ges.html>.

19. <https://www.forbes.com/sites/davidbressan/2017/10/09/expecting-a-disaster-the-1963-landslide-of-the-vajont-dam/#5740dd3711f8>.