

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

**Б.А. Новаковский, П.Е. Каргашин, А.И. Прасолова,
Р.В. Пермяков, М.А. Каргашина**

МГУ имени М. В. Ломоносова

Экологическая опасность — сложное и неоднозначное понятие, содержание которого может меняться в зависимости от формулирующего его субъекта. В научной литературе и нормативно-правовых документах у данного термина существует достаточно большое количество определений. Согласно строительным правилам инженерно-геодезических изысканий, экологическая опасность — "это возможность ухудшения показателей качества природной среды, ее состояний и процессов под влиянием природных и техногенных факторов <...>" (СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства). С позиции гражданской защиты, "это состояние, угрожающее жизненно важным интересам личности, обществу и окружающей природной среде в результате антропогенных и природных воздействий на нее" [1]. В терминологии министерства РФ по чрезвычайным ситуациям, "экологическая опасность — это угроза нарушения природных условий, происходящих вследствие деятельности человека или в результате стихийных бедствий, которые могут привести к ухудшению здоровья людей, снизить потенциальные возможности активной производственной деятельности <...>" [2] Общая черта этих определений — наличие угрозы окружающей среды, возникновение которой спровоцировано антропогенными и природными факторами. Сооружение промышленного объекта, как частный случай антропогенного воздействия на природную среду, приводит к существенному "перераспределению напряжений природно-уравновешенных систем" [3], что может стать причиной экологического бедствия.

вающих сбор, хранение, анализ и графическую визуализацию пространственных и атрибутивных данных об объектах окружающего мира. Главное преимущество ГИС заключается в возможности получения новой информации на основе пространственного моделирования и геоинформационной обработки. Моделирование же при этом понимается как процесс построения и изучения моделей. Словом "модель" обозначается уменьшенная копия, любой мысленный или условный образ какого-либо объекта, процесса или явления, используемый в качестве его заменителя. Успех в решении аналитических задач с помощью ГИС во многом зависит от полноты теоретических представлений об объекте исследования, назначения системы и ее обеспечения всеми необходимыми данными. Прежде, чем перейти к анализу экологической опасности горных водохранилищ, необходимо рассмотреть общие вопросы создания и использования собственно водохранилищ.

"Водохранилище — это искусственный водоём, сформированный в долине реки водоподпорными сооружениями для накопления и хранения воды с целью её использования в хозяйственной деятельности". Совместно с каналами и други-

В настоящее время отрицательные последствия деятельности человека в сфере водных ресурсов достигли таких масштабов, при которых нормализация экологической ситуации и обеспечение экологической безопасности требуют оперативного принятия верных решений органами исполнительной

власти. Один из способов, который позволяет быстро и обоснованно показать варианты развития ситуации — использование возможностей географических информационных систем (ГИС).

Данная система — ГИС — представляет собой программный набор средств, обеспечи-

ми водопротящими сооруже- ниями водохранилища позво- ляют перераспределять сток, способствуя комплексному ис- пользованию водных ресурсов [4].

Сооружение искусственных водоемов — необходимое усло- вие полноценного функциони- рования различных объектов энергетики. В них нуждаются все типы электростанций: гид- равлические и гидроаккумули- рующие, тепловые и атомные. Накапливая сток во время по- ловодий, водохранилища обе- печивают круглогодичное снабжение потребителей во- дой, улучшают условия ее за- бора насосными станциями во- допроводов. С помощью искус- ственных водоемов удается поддерживать необходимый уровень подкачки воды, что отражается на уменьшении ее мутности и бактериальной за- грязненности. Кроме того, за счет более полного использо- вания стока, сооружение во- доохранилищ позволяет значи- тельно увеличить площади орошаемых земель, которые в естественном состоянии не могли быть обеспечены водны- ми ресурсами рек.

Следует отметить, что во- доохранилищам принадлежит важная роль в борьбе с павод- ками и наводнениями, выз- ванными интенсивным таяни- ем снегов в весеннее время, продолжительными ливнями, ледяными заторами и зажора- ми. Кроме того, большая часть санаториев и пансионатов располагается на берегах водоемов или в непосред- ственной близости от них. Рыбная ловля и охота, эстетиче- ское воздействие живопис- ных ландшафтов и смена впе- чатлений формируют рекреа- ционную составляющую этих водных объектов. Это значит, что водохранилищам отводит- ся и особая роль при органи- зации отдыха.

На рис. 1 показана общая схема водохранилища [5]. Зоны воздействия водохранилищ на территорию в верхнем и ниж- нем бьефе показаны на рис. 2.

Таких образом, кроме реше- ния важных хозяйственных за- дач, водохранилища вносят в природную и хозяйственную составляющие территории и ряд негативных изменений: за- топление и подтопление зем- ель, обрушение берегов; изме- нения микроклиматических условий и санитарно-гигиени- ческой обстановки, нарушения условий воспроизводства и на- гула рыб.

Воздействие водохранилищ на сельское хозяйство районов, прилегающих к реке в зоне подпора и в нижнем бьефе гидроузла, заключается в изъя- тии сельскохозяйственных угод- дий, снижение их качества и условий земледелия. Наибольшее влияние на насе- ление оказывает переселение жителей из зон воздействия во- доохранилища и изменение соци- ально-экономических усло- вий их жизни.

Важный элемент проекти- рования водохранилища заклю- чается в определении его технических параметров при обязательном учете природной и хозяйственной составляю- щих территории. Такой подход позволяет конкретизировать экологические и техногенные риски, выявить степень экологи- ческой опасности и миними- зировать отрицательные после- дствия строительства.

При прогнозировании осо- бенностей проектируемых во- доохранилищ в первую очередь должно учитываться располо- жение водоемов в пределах географической зоны или высот- ного пояса. Среди факторов размещения искусственных во- доемов самым существенным является рельеф. Водоохранили- ще может быть создано в усло- виях как значительно, так и умеренно расчлененного релье- фа в пределах низменностей, хол- мистых равнин, предго- рий, плато, плоскогорий, гор- ных долин и каньонов. Харак- тер рельефа местности, где созда- ется водохранилище, опреде- ляет площади затопления зем- ель на единицу объема и на- пора, морфологию и морфо-

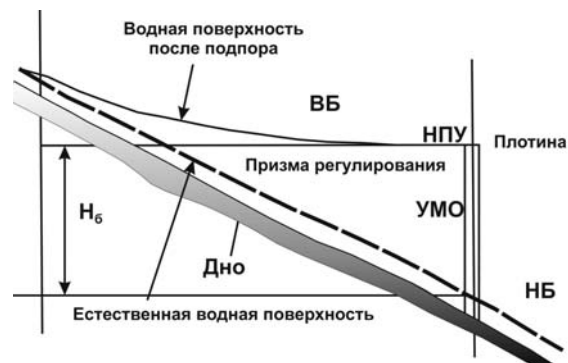


Рис. 1. Схема водохранилища: НБ — нижний бьеф; ВБ — верхний бьеф; Н_б — на- пор на плотине (статический подпор); НПУ — нор- мальный подпорный уровень; УМО — уровень ми- нимального объема

метрию водохранилища, ре- жим наполнения и possibili- ти отраслевого использования.

В большинстве стран стре- мятся создать регулирующие водохранилища в горах, где за- топления сельскохозяйствен- ных земель, населенных пунк- тов и коммуникаций менее значительны или отсутствуют вовсе. Однако и в высокогор- ных условиях, где размеры за- топления хозяйственных объ- ектов минимальны, предпочте- ние отдается вариантам с меньшими затоплениями, даже если это связано со значитель- ными дополнительными затра-



Рис. 2. Зоны водохранилища: 1 — постоянного затопления; 2 — периодического временного затоп- ления; 3 — эпизодического затоп- ления с малой вероятностью повто- рения; 4 — повышенного уровня грунтовых вод; 5 — переформиро- вания берегов; 6 — влияние много- летнего и сезонного регулирования стока; 7 — недельного и суточного регулирования стока; 8 — климати- ческого влияния

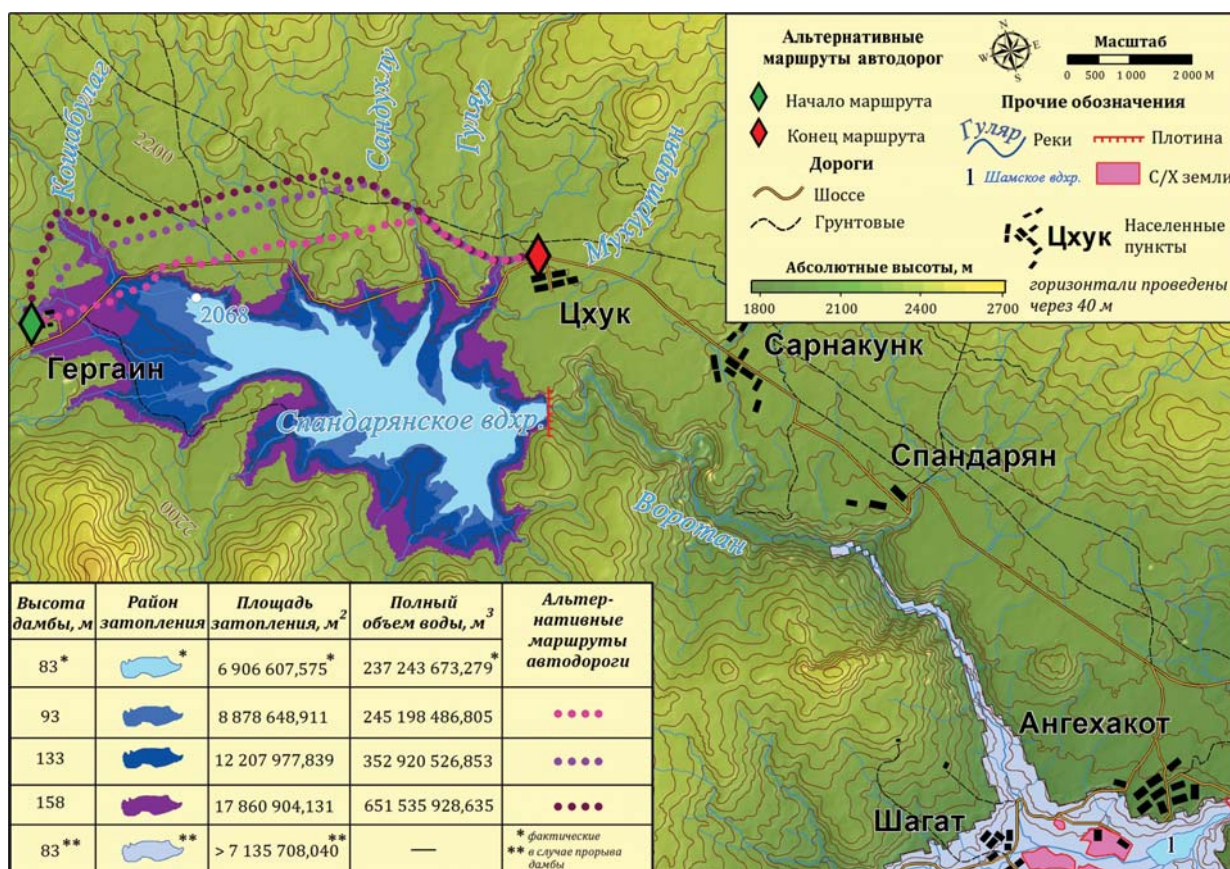


Рис. 3. Карта экологической опасности Спандарянского водохранилища (Армения)

тами. Для гидроэнергетических каскадов характерен метод увеличения водосборной площади водохранилищ путем подведения стока из других бассейнов. В результате такого подведения водохранилища регулируют гораздо больший сток. Горные водохранилища характеризуются сравнительно небольшой площадью акватории и незначительным (десятки кв. м) затоплением земель. Для них характерны большие глубины (нередко более 100 м), слабое подтопление берегов и интенсивное заполнение наносами [4].

Серьезную опасность для населения, техносферы и природной среды представляют гидродинамические аварийные ситуации на водохранилищах. Начальная фаза гидродинамической аварии — прорыв плотины. В результате нее возникает волна прорыва, образующаяся во фронте потока воды. Она характеризуется значительной высотой гребня и скоростью движения, обладает

большой разрушительной силой. Высота волны прорыва и скорость ее распространения зависят от нескольких факторов: размера протока в теле плотины, разницы уровней воды в верхнем и нижнем бьефе, гидрологических и топографических условий русла реки и ее поймы. Скорость продвижения волны прорыва в горных и предгорных районах колеблется в пределах 80 — 100 км/ч. Высота волны находится в диапазоне от 2 до 12 м.

Основным следствием прорыва плотины при гидродинамических авариях принято считать катастрофическое затопление местности — гидродинамическое бедствие, являющееся результатом разрушения искусственной или естественной плотины. Оно заключается в стремительном затоплении волной прорыва нижерасположенной местности и возникновении наводнения. В рамках подтопленной территории принято выделять зону вероятного катастрофического

затопления — зону, на которой ожидается или возможна гибель людей, сельскохозяйственных животных или растений, повреждение или уничтожение материальных ценностей, а также ущерб окружающей природной среде (ГОСТ Р 22.0.03-95).

Значительную поддержку инженерам, отвечающим за безопасность сооружения искусственных водоемов, оказывает аналитический аппарат ГИС. Авторами разработана методика геоинформационного моделирования экологической опасности горных водохранилищ на примере Спандарянского водохранилища в Армении.

Проектирование любого водохранилища неразрывно связано с физико-географическими условиями территории и характером ее хозяйственного освоения. С точки зрения районирования, исследуемый район входит в состав Джавахетско-Армянской провинции, расположенной на высоком

нагорье (1500 — 4100 м) и характеризуется высотной зональностью ландшафтов переднеазиатского типа. В связи с широким распространением покровов пористых вулканических пород, большая часть поверхностной влаги инфильтруется, что обеспечивает зарегулированность речного стока, в первую очередь, за счет подземного питания.

Спандарянское водохранилище было сооружено в 1980 г. с целью переброски воды по подземному тоннелю в озеро Севан. Спандарянское водохранилище относится к горному типу искусственных водных объектов. Для него характерны большие глубины, незначительная площадь затопления и малый уровень инфильтрации. Поперечный профиль долины р. Воротан, на которой построено водохранилище, имеет вид узкого каньона и совпадает с ее руслом. В таких условиях для создания емкости, удовлетворяющей потребностям переброски воды в оз. Севан, необходимо возведение высокой плотины, для чего была построена дамба длиной 315 м и высотой 83 м [6].

Высота плотины оказывает существенное влияние на объем водохранилища и площадь его поверхности, обуславливает масштабы хозяйственного использования и ущерб инфраструктуре от возможного затопления. Авторами рассмотрены сценарии, показывающие затопление районов в верхнем бьефе после искусственного увеличения высоты плотины с 83 до 93, 133 и 158 м, т.е. на 10, 50 и 75 м, соответственно. Кроме того, рассчитаны последствия чрезвычайной ситуации, вызванной возможным прорывом плотины Спандарянского водохранилища.

Ключевой источник данных для моделирования — материалы дистанционного зондирования и полученная на их основе цифровая модель рельефа (ЦМР) [7]. Для создания ЦМР территории, прилегающей к Спандарянскому водохранили-

щу, использовали стереопару панхроматических космических снимков с пространственным разрешением 2,5 м. Снимки получены стереокамерой PRISM с японского спутника ALOS. Процесс их аналитической обработки реализован средствами цифровой фотограмметрической системы PHOTOMOD 5.2, разработанной ЗАО "Фирма "Ракурс" [8]. Итоговая точность характеризуется среднеквадратическими ошибками планового и высотного положения опорных точек в 2,8 м и 4,9 м соответственно.

Моделирование затопления территории реализовано средствами геоинформационного пакета ArcGIS 10. С их помощью рассчитаны площади затопления территории и объемы воды в верхнем бьефе в результате постепенного увеличения высоты дамбы на стадии проектирования водохранилища. Результаты моделирования представлены на карте экологической опасности Спандарянского водохранилища (рис. 3). Районы затопления показаны способом ареалов. В зависимости от высоты плотины, обуславливающей уровень затопления, их цвет варьирует от синего — для 93-метровой дамбы до темно-синего и лилового — для 133 и 158-метровых плотин, соответственно. Фактическое положение водохранилища показано стандартным условным знаком голубого цвета.

Количественные показатели объема воды в водохранилище при том или ином инженерном решении позволяют оценить масштабы последствий в случае возможного прорыва плотины.

Рассматривая в качестве одного из основных результатов возможное подтопление автодороги в верхнем бьефе водохранилища на участке Цхук-Гергаин при увеличении высоты дамбы, становится очевидным, что при проектировании следовало разработать ее альтернативные маршруты. Для

моделирования их положения учитывали 3 основных фактора: кратчайшее расстояние между связующими пунктами, наименьшие величины крутизны склонов и отсутствие пересечений с районом затопления. В зависимости от высоты плотины, цвет альтернативных маршрутов автодороги на карте варьирует от розового — для 93-метровой дамбы до фиолетового и лилового — для 133 и 158-метровых плотин, соответственно.

Кроме того, средствами ArcGIS 10 была рассчитана зона катастрофического затопления местности в нижнем бьефе в результате возможной чрезвычайной ситуации — прорыва плотины. Следует отметить, что значения площади катастрофического затопления и объема воды в нижнем бьефе Спандарянского водохранилища вычислены без учета гидродинамических особенностей р. Воротан. На основе полученных данных можно сделать предварительный прогноз того, как будет развиваться ситуация и какие последствия следует ожидать.

На участке между плотиной и селом Спандарян долина р. Воротан представляет собой узкий и глубокий каньон с уклоном реки 38,7 ‰. В этой части нижнего бьефа Спандарянского водохранилища территория не подвержена катастрофическому затоплению. На участке между селом Спандарян и мостом через реку на трассе Шагат-Ангехакот долина р. Воротан постепенно расширяется, характеризуясь уклоном 12,7 ‰, и переходит на открытое, относительно плоское пространство перед Шамским водохранилищем. Это зона катастрофического затопления, в которую полностью попадает село Шагат с населением, по приблизительным оценкам, 300-500 чел., а также юго-западная часть села Ангехакот с населением 100 — 200 чел. Таким образом, под водой могут оказаться более 150 огнестойких и 50 неогнестойких

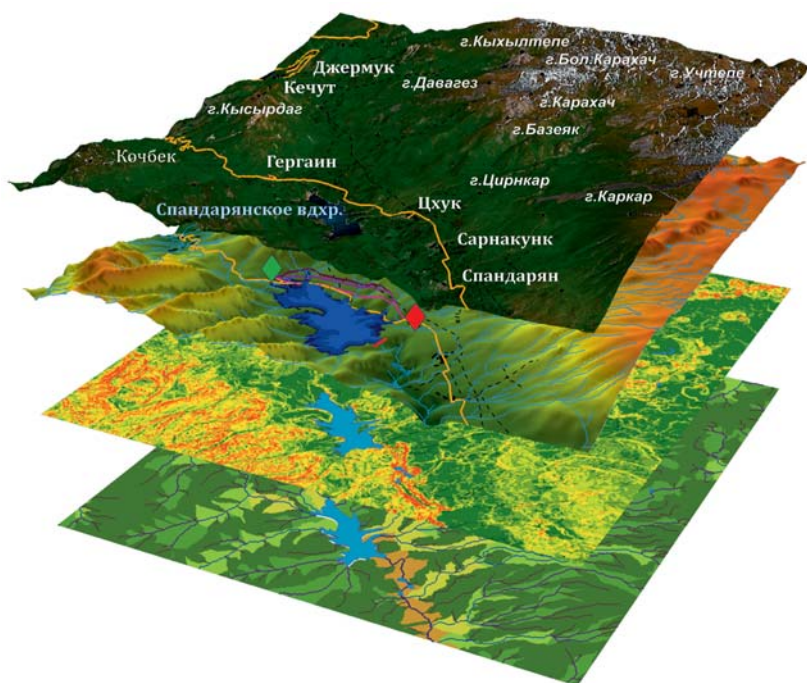


Рис. 4. Перспективная визуализация геоинформационного моделирования экологической опасности

строений, участок дороги М 13 между Ангехакотом и Шагатом, а также сельскохозяйственные земли общей площадью 611 550 м².

На карте экологической опасности (см. рис. 3) катастрофическая зона затопления показана ареалом светло-синего цвета, а сельскохозяйственные угодья, лежащие в ее пределах — ареалом розового цвета. Карта снабжена легендой, а также расчетной таблицей площадей затопления и объемов воды для каждого из рассмотренных сценариев.

Следует отметить, что визуализация результатов геоинформационного моделирования в целях прогнозирования экологической опасности не может быть ограничена только двухмерными картографическими произведениями. Для принятия управленческих решений трехмерная форма представления материалов является наиболее понятной и эффективной. На рис. 4 представлены исходные данные и промежуточные результаты моделирования экологической опасности Спандарянского водохранилища, визуализированные в трехмерном пространстве приложения

ArcScene. Два нижних слоя представляют собой данные о водосборных бассейнах и углах наклона. Выше располагается ЦМР с наложенными на нее районами возможного затопления территории и вариантами оптимальных маршрутов объезда. Верхний слой — ЦМР, текстурированная космическим снимком и дополненная географическими названиями.

Современные геоинформационные технологии вызывают обоснованный интерес у инженеров, как в целях проектирова-

ния водохранилищ, так и для оценки их экологической опасности. Опасность горных водохранилищ подразумевает под собой не только контролируемое затопление территории, но и риск возникновения чрезвычайной ситуации, вызванной возможным прорывом плотины. Высота и скорость продвижения волны прорыва в горных районах на порядок выше, чем на равнине. В связи с этим негативные последствия для населения и природной среды в нижнем бьефе горного водохранилища могут приобрести катастрофический характер. Возможности ГИС, благодаря развитым аналитическим функциям и различным формам картографического представления, позволяют на основе ЦМР моделировать районы затопления при той или иной высоте плотины. Кроме того, с их помощью можно рассчитать площади затопления и объемы воды, а также вычислить оптимальные маршруты объезда затопленной территории с учетом крутизны склонов. Таким образом, геоинформационное моделирование является мощным инструментом для обоснования решений, связанных с проектированием горных водохранилищ с учетом минимизации влияния факторов экологической опасности, при возникновении чрезвычайных ситуаций и на этапе ликвидации их последствий.

Литература

1. **Гражданская защита.** Понятийно-терминологический словарь / Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. М.: Издательство "Флайст", Информационно-издательский центр "Геополитика", 2001.
2. **Официальный сайт** Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Словарь терминов. URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87362/>. Дата обращения: 17.12.2012
3. **Кальнер В.Д.** Экологическая парадигма глазами инженера. М.: Калвис, 2009.
4. **Авакян А.Б., Шараров В.А. и др.** Водохранилища мира. М.: Наука, 1979.
5. **Беркович К.М.** Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географический факультет МГУ, 2012.
6. **Бабаджанян А.С., Хачатрян Г.М., Сарданян Н.М., Мелконян Г.Р.** Изучение и анализ катастроф с применением данных паспорта общины // Труды молодых ученых. 2010. № 3.
7. **Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Волкова И.С., Пермяков Р.В.** Геоинформационное обеспечение моделирования рельефа с использованием цифровых фотограмметрических станций // Геоинформатика. 2011. № 4.
8. **Новаковский Б.А., Пермяков Р.В., Каргашин П.Е.** PHOTOMOD и тематическое картографирование // Геодезия и картография. 2012. № 10. ■