

ка" (глубина 140 м). Для этого будут предприняты следующие конкретные шаги: 1) гармонический анализ в скользящем временном окне длиной в 1 месяц и шагом в 1 сутки временных рядов почасовых синхронных наблюдений атмосферного давления и уровня воды в каждой скважине; 2) выделение устойчивых гармоник в наблюдениях атмосферного давления; 3) выделение когерентных им гармоник в наблюдениях уровней воды в каждой скважине; 4) определение ОАО и ВЗО из сопоставления амплитуд и фаз найденных когерентных гармоник и составление их временных рядов с суточной дискретизацией для каждой скважины; 5) выделение в полученных временных рядах полумесячных и месячных приливных гармоник; б) сопоставление их с теоретическими полумесячными и месячными приливными волнами в деформациях M_f и M_m для определения тензочувствительности ОАО и ВЗО; 7) определение по текущим значениям ОАО и ВЗО долговременных изменений НДС земной коры, связанных с процессами подготовки землетрясений.

Реализация метода позволит использовать высокую чувствительность проницаемости горных пород к деформациям для индикации последних и тем самым существенно повысить информативность пьезометрических наблюдений для оценки сейсмической опасности. Возможность накопления полезного сигнала при определении интегральной тензочувствительности наблюдаемого участка земной коры по периодическим гармоникам M_f и M_m , амплитуды и фазы которых определяются независимо, обеспечит достаточно высокую точность таких оценок.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №06-05-96627.

Литература

1. Любушин А.А. (мл.), Малугин В.А. Физика Земли. 1993. № 12.С. 74-80.
2. Любушин А.А. (мл.), Лежнев М.Ю. Физика Земли. 1995. № 8.С. 79-84.
3. Таймазов Д.Г. Способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры. Заявка в Роспатент № 2006111939/28(012991), 2006 г.

Формирование гидрогеодинамического и сейсмического режимов района Чиркейского водохранилища под воздействием техногенного фактора на геологическую среду

Р.А. Магомедов
ИГ ДНЦ РАН

Изучение особенностей геодинамических и гидродинамических процессов в геологической среде района водохранилища было начато в связи с его заполнением и эксплуатацией ГЭС. В результате работы ГЭС был сформирован определенный сезонный эксплуатационный уровень режим, обусловленный в основном, характером речного (меженного статического, паводкового и ливневого) стока и, естественно, режимом эксплуатации ГЭС.

Создание водохранилища в сложных горно-геологических и инженерно-геологических условиях предопределило коренную перестройку динамики подземных вод, создание областей подпора глубинных высокоминерализованных вод, образование новых путей фильтрации как глубинных, так и приповерхностных пластово-трещинных вод, и в целом формирование своеобразных гидрогеологических особенностей их режима.

Для более полного понимания условий их формирования в реальной геологической среде, рассмотрим основные черты геолого-тектонического строения этого сложно построенного региона, обусловившего гидрогеологический режим подземных вод и характер контакта последних с поверхностным водным режимом. В бортах долины реки Сулак в районе водохранилища обнажаются в сложных структурных взаимоотношениях породы юрского, мелового и палеогенового возрастов. Представлены они (снизу вверх) терригенно-доломитовым комплексом верхнего отдела юры: алевролитами с прослоями песчаных известняков и доломитов; плотными известняками и загипсованными доломитами с прослоями и линзами гипса. Отложения нижнего мела представлены карбонатно-терригенным комплексом: известняками с прослоями мергелей, песчаников и алевролитов, переходящим в терригенный комплекс в основном алевролитоглинистых и песчано-алевролитовых пород. Верхний мел представлен в нижней части разреза комплексом карбонатных пород: тонкослоистыми известняками с прослоями мергелей и мергелистых глин, а в верхней – массивными плотными известняками. Палеогеновые отложения в основном представлены пестроцветными, битоминозными и глинистыми, с тонко сланцеватой структурой, мергелями с прослоями известняков. Карбонатная толща верхнего мела – палеогена (фораминиферовая толща) смята в сложную систему складок и осложнена значительно развитой трещиноватостью.

В тектоническом отношении водохранилище расположено в пределах Дагестанского клина. Характер размещения линейных разломной тектоники в общих чертах подтверждает геодинамику региона, сформировавшую сложное блоковое строение Дагестанского клина (рис 1).

В пределах рассматриваемого района имеют место две антиклинальные складчатые структуры – Хадумский купол и Салатауский хребет, разделенные синклиналильным прогибом, а также две взаимно пересекающиеся зоны дробления и трещиноватости пород Сулакского (с продолжением Старый Чиркей-Экибулакского) и Ахатлы-Зубутлинского разломов (рис 1). В силу значительной раздробленности геологи-

ческой среды река Сулак пропилила себе русло – каньон, борта которого являются упорами плотины Чиркейской ГЭС. Общее региональное падение пород в районе водохранилища – СВ, что обуславливает характер питания и динамику подземных вод водопроницаемых и трещиноватых отложений, обнаженных в его бортах, а также формирование оползней, новых родников и гравитационных проседаний в левом борту р. Сулак в нижнем бьефе Чиркейской плотины.

На достаточно выветрелые и сильно трещиноватые породы преимущественно сланцеватой структуры наложено водохранилище глубиной до 220 метров и общим объемом водной массы после его заполнения около 2.9 млрд. м³, из которых 1.32 млрд. м³ является ежесезонно срабатываемой динамической ее составляющей. Породы ложа водохранилища после его заполнения в зависимости от рельефа дна испытывают меняющиеся в сезонном разрезе времени переменную нагрузку. Эта нагрузка создала и своеобразные условия для формирования совершенно иного гидрогеодинамического режима района. Усложнились процессы свободной циркуляции подземных вод по зонам трещиноватости, взаимодействия глубинных сильно минерализованных и термальных вод с водами инфильтрующимися под давлением из водохранилища; существенно изменилась эффективная вязкость пород разреза, а, следовательно, и характер развития деформационных процессов и время релаксации накапливающихся напряжений.

Известно, что напряженное состояние идеально упругого тела мгновенно меняется при вариациях прилагаемых нагрузок, и его распределение и соотношение скалярных величин главных напряжений, зависит от упругих свойств материала.

Совершенно иные процессы происходят в вязкой среде. Время релаксаций напряжений для таких сред определяется соотношением [1]: $\tau = \eta / \mu$, где η - эффективная вязкость; μ - модуль сдвига.

Реальная геологическая среда за счет наличия в ней разломов и повышенной трещиноватости в верхних частях разреза земной коры, повышенных температур - в нижних, различных скоростей приложения нагрузок, неоднородностей в строении разрезов литосферы и ее отдельных структур и других причин, существенно снижает принимаемые обычно в расчетах значения вязкости.

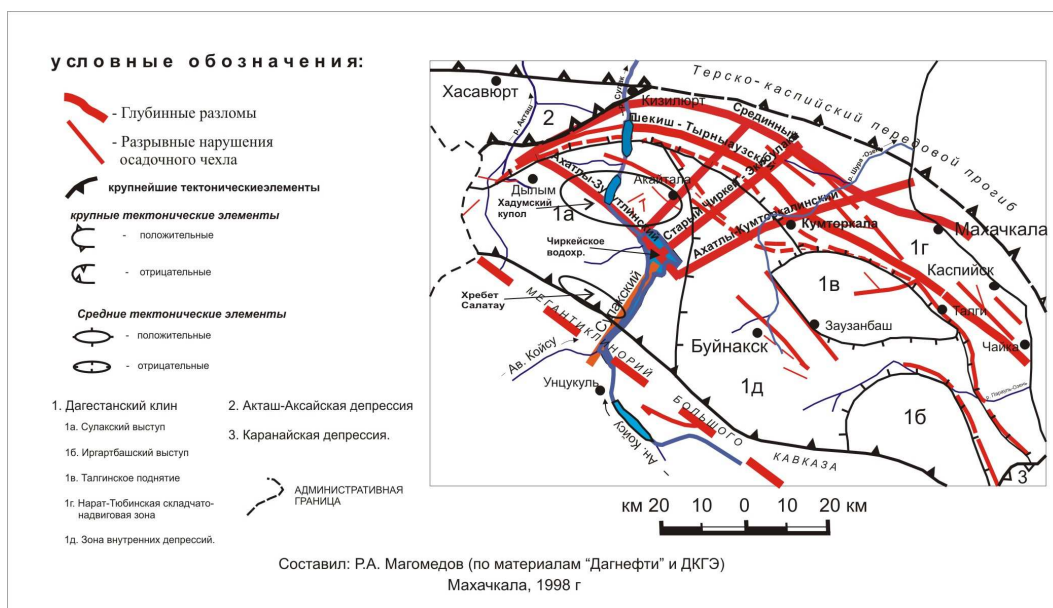


Рис. 1. Схема расположения глубинных разломов и разрывных нарушений осадочного чехла области Дагестанского клина

При вертикальных движениях земной коры наличие вертикальных разломов приводит к снижению квазивязкости литосферы и особенно верхней части ее разреза примерно на один порядок. Однако разрез литосферы может характеризоваться и резко выраженной анизотропией своих реологических свойств – главным образом эффективной вязкости, и тогда напряжения создаваемые неоднородностями среды в пределах мощности земной коры, приводят с течением времени к медленному горизонтальному растеканию литосферного слоя.

В связи с тем, что строение литосферы и особенно ее верхней части – земной коры, представляет собой (Г.Ранелли и Д. Мерфи, 1987; В.Г. Трифонов, 1988 и др.) слоеный пирог, состоящий из чередующихся слоев высокой и низкой вязкости, сохраняющий в целом общее ее снижение с глубиной (до 120 км), распределение поля напряжений весьма сложное, а поэтому время его релаксации определить очень трудно. Большинство исследователей [1, 2, 3 и др.] считают, что вязкость литосферы составляет $\eta = 10^{19} - 10^{22}$ пуаз и при расчетах с использованием соотношения Е.В. Артюшкова (1979) дает более реальные, соизмеримые с масштабами геохронологической шкалы, периоды времени релаксации напряжений, которые в данном случае оцениваются в очень широких пределах от 10 до 10000 лет.

В силу реальных естественных природных условий приповерхностных горизонтов земной коры мы вправе ожидать снижение вязкости по отдельным слоям ее разреза на величину менее 10^{19} пуаз, а, следовательно, и сроков релаксации напряжений в пределах до нескольких лет. В конкретно изучаемом нами регионе, когда на естественные природные факторы, сформировавшие реологические свойства геолого-гидрогеологической среды, накладываются достаточно мощные дополнительные синхронно воздействующие на нее техногенные факторы, которые, приобретая регулярный характер во времени, приводят к изменению свойств среды, к снижению эффективной ее вязкости и естественно, времени релаксации напряжений, сформированных уже при воздействии на массив горных пород в совокупности как естественных, так и техногенных факторов. Переменная нагрузка на массив уже трещиноватых горных пород обуславливает вертикальные движения земной коры, раскальматацию зон трещиноватости, усиление динамики подземных вод, что в конечном счете снижает вязкость среды, а также сопротивляемость ее процессам релаксации напряжений и остаточных деформаций.

Превышение напряжениями предела прочности пород геологической среды приведет в дальнейшем к образованию разрывов, новых трещин и к локальному перераспределению напряжений, а в региональном объеме – к снижению квазивязкости и прочности (устойчивости) массива горных пород.

Вполне естественно при этом, что динамика уровня воды в водохранилище и синхронизация его режима во времени являются основополагающими факторами изменившимися и изменяющимися, в сезонном аспекте, динамику подземных вод района Сулакского каскада ГЭС, степень обводненности массивов горных пород и обуславливающими их прочность и сопротивляемость физико-химическому разрушению. Этот процесс, безусловно, приводит и к снижению эффективной вязкости литологически неоднородного разреза горных пород.

Далеко не последнюю роль в степени сопротивляемости горных пород факторам физико-химического выветривания, а следовательно и устойчивости массива в целом, играют такие их свойства как трещиноватость, пористость, проницаемость, водонасыщенность и водоотдача, а также положение базиса эрозии. В совокупности эти свойства среды формируют флюидодинамику района водохранилища в условиях синхронно воздействующих на нее, в сезонном аспекте, естественного и техногенного факторов.

После разрушительного 9-ти балльного Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года, в сейсмофокальную область которого попал и район Сулакского каскада ГЭС, последний стал потенциально опасным для строительства и эксплуатации уже построенных ответственных гидротехнических, промышленных и других сооружений. Поэтому проведенным в 1989 году сейсмическим районированием, районы построенных и строящихся ГЭС каскада из 7-ми балльной зоны сотрясаемости отнесены к 8-ми – 9-ти балльным.

Опасность сложившейся сейсмической ситуации состоит в том, что техногенный фактор, способный сформировать землетрясение с энергетическим классом $K = 13.6$ [4], может спровоцировать к разрядке уже «созревшие» сейсмические очаги тектонической природы со значительно большей энергией и привести к повреждению уже построенных и действующих гидротехнических сооружений на реке Сулак к северу от Чиркейской плотины. Эта опасность осложняется еще и тем, что осуществленной Гидропроектом вариант компоновки и размещения основных компонент ГЭС, когда и деривация и турбины вмонтированы в тело плотины, привел к развитию механических микровибрационных процессов, диапазон частот которых в зависимости от числа работающих турбин меняется от 0.3 до 1.2 Гц. Естественно, что для такого монолитного тела, каким является железобетонная плотина Чиркейской ГЭС, такая частота механических колебаний особого вреда принести не смогла бы. Но в силу того, что плотина не является отдельно обособленным телом, а жестко вмонтирована во внешне плотные в естественном залегании коренные породы, представленные алевритами, доломитами и известняками с прослоями мергелей, песчаников, сланцев и глин, ее механические колебания, в силу разнородности сред, передавались в менее плотную геологическую среду с каким-то их усилением. Породы геологической среды в районе плотины сильно трещиноваты, достаточно хорошо поддающиеся воздействию физико-химических факторов выветривания как естественных, так и искусственно создаваемых деятельностью человека.

Наблюдениями установлена, что в силу установившегося за многие годы режима эксплуатации водохранилища, 40-ка метровая толща трещиноватых пород, слагающая его борта, то заводняется при заполнении, то осушается при сработке уровня воды водохранилища, обуславливая тем самым постепенное, но прогрессирующее во времени разупрочнение массива пород, особенно на контакте «плотина-геологическая среда», ухудшение прочности их связи, образование в бортах водохранилища оползней и гравитационных проседаний, развитие трещиноватости. Между тем на процесс снижения прочности массива пород в области контакта за счет его периодической флюидизации и дефлюидизации, накладываются и разночастотные также разуплотняющего свойства, механические колебания еще более ослабляющие связь плотины со средой.

Синхронно меняющееся воздействие динамической нагрузки на ложе водохранилища весом 1.32 млрд.т. приводит к дифференцированному то опусканию, то подъему дневной поверхности в районе водохранилища (амплитуда вертикального смещения у плотины достигает 60 мм) и образованию в массиве пород деформаций сжатия и растяжения. Такие процессы в уже ослабленных зонах будут усиливать разуплотнение массива и образование новых зон трещиноватости.

Наличие в пределах водохранилища пересечений зон тектонических нарушений, а следовательно и контактов тектонических блоков, при воздействии на которые неравномерно распределенной на их поверхности водной нагрузки, обуславливает различные скорости и амплитуды вертикальных смещений этих блоков, приводит к нарушению прочности связей между ними, к изменению гидродинамического режима и к усилению процессов раскальматации и суффозии.

Резкое изменение скорости приложения динамической нагрузки или ее снятия при эксплуатации водохранилища может увеличить или замедлить скорость вертикальных движений блоков и привести к нарушению сил сцепления между ними, к релаксации накопившейся остаточной упруго-вязкой деформации, формируемой в массиве пород геодинамическими процессами, и, в конечном счете, к свершению сейсмического события.

Очевидно, что сложившиеся достаточно сложные инженерно-геологическая и гидрогеодинамическая обстановки в районе водохранилища почти целиком обусловлены сезонным режимом его эксплуатации и характером развития физико-химических процессов в массиве горных пород.

Литература

1. Артюшков Е.В. Геодинамика. М., «Наука», 1979 г.- 327 с.
2. Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов /В.Г. Трифонов, Г.А. Востриков, А.И. Кожурин и др.- М., «Наука», 1988.- 365 с.
3. Кучай В.К. Зонный орогенез и сейсмичность. М., «Наука», 1981.- 160 с.
4. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях / Р.А. Левкович, Г.И. Дейнега, С.А. Каспаров, Ш.Г. Идармачев, Г.С. Казарьянц, А.Г. Дейнега, Г.Н. Омаров. М., «Наука», 1982 г.- 75 с.
5. Теоретические вопросы исследования современных движений земной коры. Результаты исследований по международным геофизическим проектам /Под ред.: чл.-корр. АН СССР Ю.Д. Буланже, ак. АН КазССР Ж.С. Ержанова и др.-М., Советское радио.- 123 с.
6. Проблемы современных движений земной коры. 4-й Международный симпозиум, Москва, СССР, 1971 /Ред. колл.: Ю.Д. Буланже, Л.А. Кашин, Д.А. Лилиенберг и др.- «Валгус», Таллин, 1975 г.- 249 с.

Экспериментальные исследования динамических свойств грунтов геофизическими методами и их инженерно-геологическая интерпретация при уточнении сейсмичности площадки строительства

С.А. Мамаев
ИГ ДНЦ РАН

Введение

В сейсмическом микрорайонировании главной задачей является изучение сейсмических свойств различных типов грунтов: лессовых, глинисто-мергелистых, песчаных и др. Опытные участки для проведения исследований выбираются исходя из различных инженерно-геологических условий. В долине Терека, на отрезке от ст. Наурской до ст. Каргалинской, встречаются два типа строения песчаного массива:

I – под 1,5 – 2,0 м слоем иловатых суглинков залегает 20–25 м толща мелких пылеватых песков с частыми тонкими (до 1 см) прослойками супесей и суглинков. Уровень грунтовых вод расположен на глубине 1,5–2,0 м.

II – с дневной поверхности до глубины 6–8 м залегают мелкозернистые пылеватые пески с прослойками супесей и суглинков, ниже и до глубины 15–20 м – тяжелые суглинки и глины тугопластичной консистенции, с тонкими прослойками и гнездами мелкозернистых песков.

Работы по исследованию динамических свойств грунтов выполнялись на участке МКР «Ипподромный», г. Грозный в 1987 году.

Экспериментальные исследования динамических свойств грунтов включали в себя производство геофизических работ по определению акустических жесткостей грунтов способом малоглубинной сейсморазведки; сейсмометрических работ по измерению амплитуд смещения грунта на исследуемой площадке от серии удаленных взрывов с одинаковым зарядом.

В результате определялись изменение сейсмических свойств исследуемого участка в его различных состояниях, и в конечном итоге, количественно устанавливалось приращение сейсмической интенсивности исследуемой площадки к среднему (исходному) для города баллу и построение спектров колебаний от взрывов для выявления резонансных воздействий грунта.

1. Методика и результаты геофизических работ.

а) Построение годографов и их интерпретация.

Геофизические измерения проводились с помощью одноканальной сейсмической установки ОСУ–2. Установка позволяет определять времена пробега продольных и поперечных сейсмических волн, и методом преломленных волн – скорости их пробега в различных геологических слоях, а также определять глубину залегания преломляющей границы слоев. Времена пробега волн определяются с точностью до 0,1 мсек при длине профиля до 200 м при отсутствии микросейсмических помех и невысоком затухании колебаний в грунтах. Сейсмические колебания возбуждаются ударами кувалды весом 6 кг по грунту