

# КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

**А.А. Генике** (МИИГАиК)

В 1954 г. окончил радиотехнический факультет Московского электротехнического института связи. С 1954 г. по 1989 г. работал научным сотрудником ЦНИИГАиК. С 1990 г. работает на кафедре астрономии и космической геодезии МИИГАиК, профессор.

**В.Н. Черненко** (Загорская ГАЭС)

В 1972 г. окончил геологоразведочный факультет Томского политехнического института им. С.М. Кирова по специальности «горный инженер-гидрогеолог». С 1972 г. работал в ДальморНИИпроекте (Владивосток), с 1975 г. — в ДальВосУглеразведке (Якутск), с 1978 г. — в научно-исследовательском центре Гидропроекта. С 1996 г. работает на Загорской ГАЭС. В настоящее время — начальник гидроцеха.

В последнее время резко возросла актуальность изучения геодинамических процессов, происходящих в приповерхностных геологических структурах на локальных территориях, которые характерны для городов и зон расположения крупных инженерных сооружений. С этой целью в упомянутых регионах создаются специализированные геодинамические полигоны, используемые для наблюдений и последующих исследований тектонических, техногенных, физико-химических и других процессов, обуславливающих изменение свойств и состояния пород. Это, в свою очередь, может приводить к возникновению опасных деформаций как земной поверхности, так и расположенных на ней различного рода сооружений.

В статье рассматриваются некоторые комплексные подходы к решению данной проблемы применительно к крупным объектам электроэнергетической отрасли, на которых в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 марта 1995 г. № 1207 предусмотрено создание геодинамических полигонов. К их числу отнесена и

Загорская гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС), которая по специфике работы и месту расположения представляет несомненный интерес для изучения на ее примере возникающих и развивающихся деформационных процессов.

Загорская ГАЭС (рис. 1), расположенная примерно на 100 км севернее Москвы, имеет достаточно сложные инженерно-геологические условия. Коренная часть геологического разреза состоит из пород мезозойского возраста, представляющих чере-

дование субгоризонтально залегающих песчаных и глинистых пластов. Поскольку условия работы данной электростанции предусматривают ее расположение на наклонном участке местности (перепад высот между верхним и нижним бассейном составляет около 100 м), создаются предпосылки для возникновения различного рода оползней и других разновидностей деформаций. Следует отметить, что в процессе создания инженерных сооружений рассматриваемой ГАЭС было зарегистриро-



**Рис. 1**  
Общий вид Загорской ГАЭС

вано четыре опасных оползневых проявления, для борьбы с которыми пришлось срочно разрабатывать и реализовывать комплекс дорогостоящих противооползневых мероприятий [1]. Наряду с этим повышенное внимание уделяется изучению деформационных процессов, обусловленных постоянным изменением режимов работы гидроагрегатов. Полная емкость верхнего бассейна достигает 30 млн м<sup>3</sup>, в том числе полезный (оборотный) объем воды при этом равен 22,4 млн м<sup>3</sup>. Изменение уровня воды в бассейне при циклической работе ГАЭС (закачка и сброс воды) составляет 9 м (рис. 2). В результате возникает переменное давление на низовую грань инженерных сооружений ГАЭС.

Эти причины вызывают необходимость принятия соответствующих мер по организации надежного оперативного контроля за состоянием приповерхностных геологических структур и размещенных на них сооруже-

ний [2]. Контроль должен базироваться на комплексном подходе, включающем геодезические, геофизические, гидрогеологические и другие методы исследований.

При проведении данных исследований необходимо:

- оценить фактические смещения склона оползневых участков во времени;

- оценить степень влияния колебаний горизонта воды в верхнем бассейне на состояние склона;

- изучить поведение пород и изменение их деформационных свойств во времени;

- оценить локальные движения земной коры;

- разработать прогноз поведения склона на основе результирующей многофакторной оценки данных, получаемых различными методами.

Решение перечисленных задач обуславливает необходимость использования комплексного подхода, включающего:

- геодезические измерения;
- измерения уровней подземных вод и их изменений;
- геофизические измерения;
- измерения вибрации массива пород;
- измерения меняющегося горизонта воды в верхнем бассейне.

Такой комплексный подход представляет интерес для многих локальных геодинамических полигонов.

#### ▼ Геодезические измерения

Высокоточные методы спутниковых координатных определений, созданные в последние годы, позволили в значительной степени ликвидировать недостатки традиционных геодезических измерений. Их использование для решения геодинамических задач требует существенного пересмотра основных подходов как к принципам построения геодинамических сетей на геополлигонах, так и ко всему комплексу проводимых на них изме-

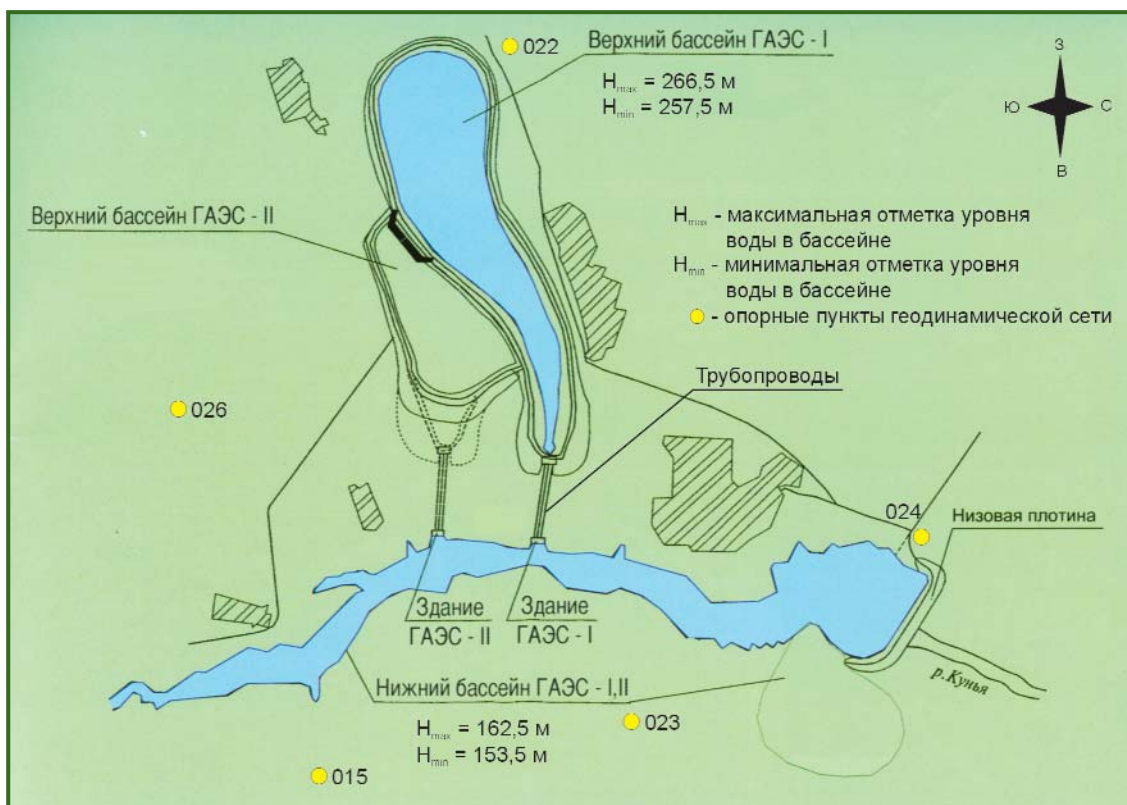


Рис. 2

Схема расположения сооружений Загорской ГАЭС и опорных пунктов геодинамической сети

рений и, в частности, рассмотрены и соответствующего обоснования спутниковых методов изучения деформационных процессов на них.

В связи с этим одной из первоочередных является задача, связанная с обоснованием общих принципов построения локальной геодинамической сети спутниковыми методами [3].

Для получения объективной информации о величинах и направлениях развития изучаемых деформаций необходимо, прежде всего, ответить на вопрос о том, относительно каких опорных пунктов должны изучаться смещения рабочих контрольных пунктов, ответственных за деформацию земной поверхности или строительной конструкции. Существующие на этот счет рекомендации сводятся к целесообразности расположения твердых (опорных) пунктов в местах выхода скальных пород, если геопolygon находится в предгорном или горном районе. Применительно к региону расположения Загорской ГАЭС реализовать такую рекомендацию не представлялось возможным. Исходя из этого был рассмотрен подход к выбору мест расположения опорных пунктов, который базируется на опыте построения геодинамической сети в Москве, созданной сотрудниками Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). Особенность такого подхода состоит в том, что на начальной стадии места расположения опорных пунктов определяются на основе проведения тщательных геологических и геоморфологических исследований. Затем после выполнения многократных, разнесенных во времени спутниковых координатных определений подтверждается обоснованность вывода о стабильности положения того или иного пункта.

Кроме того, немаловажным является вопрос об определении минимально необходимого количества опорных пунктов.

Исследования, проведенные в этой области, свидетельствуют о целесообразности использования на локальных геодинамических полигонах не менее 4–5 пунктов. При этом обеспечивается достаточно высокая достоверность определения смещений рабочих контрольных пунктов геодинамической сети, а также возможность раздельного получения информации об остаточном влиянии систематических ошибок спутниковых координатных определений и о реальных значениях изучаемых деформаций земной поверхности и элементов строительных конструкций.

Для выбора мест расположения рабочих пунктов, по смещениям которых оцениваются деформационные процессы, используется совершенно иной подход. Рабочие пункты должны располагаться в тех местах, где по результатам предварительных геологических и геоморфологических исследований следует ожидать наиболее осязаемое проявление тех или иных деформаций.

С учетом изложенных выше соображений на рассматриваемом геополлигоне было выбрано 5 опорных (015, 022, 023, 024 и 026) и более 20 рабочих пунктов (рис. 2). Тринадцать рабочих пунктов располагались между верхним и нижним бассейнами в районе трубопроводов, а одиннадцать — за нижним бассейном.

В настоящее время при решении задач геодинамики чаще всего применяют глобальную систему позиционирования (GPS). Ее потенциальная точность определения разности координат между двумя точками земной поверхности в режиме фазовых измерений оценивается на уровне около 2 мм. Практическая реализация столь высокого уровня точности сопряжена с рядом трудностей, обусловленных влиянием внешней среды и несовершенством методов наблюдений и последующей обработки

результатов измерений. За последние годы в этой области проведены обширные исследования как в России, так и за рубежом. На основе результатов данных исследований разработаны специализированные методы измерений, а также усовершенствованы методы обработки спутниковых определений координат.

При организации рассматриваемого геодинамического мониторинга был использован опыт, накопленный в процессе проведения детальных исследований по минимизации ошибок спутниковых измерений сотрудниками научно-исследовательского центра «Геодинамика» МИИГАиК. Исследования выполнялись в рамках Федеральной целевой программы «Интеграция» по проекту «Геодинамический мониторинг по выявлению опасных деформационных процессов на примере Московского региона». По их результатам были разработаны эффективные меры по учету таких источников ошибок, как тропосферная рефракция и многопутность распространения принимаемых от спутников сигналов [4].

Кроме того, повышенного внимания заслуживает вопрос рационального выбора режима проводимых спутниковых измерений и, в частности, определение длительности сеанса наблюдений, что оказывает существенное влияние на точность получаемых результатов.

За счет обоснованного выбора длительности сеанса спутниковых наблюдений удается значительно ослабить влияние ионосферной и тропосферной рефракции, а также многопутности. При проведении исследований, связанных с созданием спутниковыми методами высокоточных глобальных и континентальных сетей, установлено, что на линиях повышенной протяженности (от 100 км и более) необходимый уровень точности достигается при организации на пунктах сети непрерывных спут-

никовых наблюдений в течение 5 суток и более. На линиях сравнительно небольшой протяженности (до 20 км) длительность сеансов можно существенно сократить. По результатам исследований минимизация ошибок может быть доведена до приемлемого уровня при длительности непрерывных спутниковых наблюдений в течение суток. Разработанные методы обработки спутниковых измерений позволяют ограничиться использованием сеансов продолжительностью 4–6 ч.

Одна из характерных особенностей построения геодинимической сети в районе расположения Загорской ГАЭС состоит в том, что отдельные рабочие пункты приходится располагать в непосредственной близости от строений, которые с точки зрения спутниковых измерений следует рассматривать как отражающие объекты, порождающие многопутность сигналов и существенно влияющие на результаты координатных определений. Для повышения точности в таких неблагоприятных условиях разработаны специализированные методы учета влияния отражений, которые позволяют в значительной степени ослабить рассматриваемое влияние на конечные результаты измерений.

Было проведено около 11 циклов наблюдений, в каждом из которых использовалось до 10 спутниковых приемников компаний Leica Geosystems (Швейцария) и Trimble Navigation (США). Полученные результаты свидетельствуют о том, что смещения опорных и большинства рабочих пунктов за прошедшие несколько лет не превышают 2–3 мм (включая и неучтенное остаточное влияние спутниковых координатных определений). Вместе с тем на отдельных рабочих пунктах зарегистрированы ощутимые деформационные смещения как в горизонтальной плоскости, так и по высоте. В частности, по повторным измерениям координат

и длин базисных линий до опорных пунктов установлено, что рабочий пункт 018 (рис. 2), расположенный на южном склоне, сместился на величину около 10 мм в западном направлении за период с июня по декабрь 2002 г.

Анализ взаимного положения пунктов 123 (верхняя часть трубопроводов) и 124 (нижняя часть трубопроводов), расположенных непосредственно на трассе основных напорных трубопроводов, позволяет сделать вывод о наличии циклических смещений на уровне нескольких миллиметров, обусловленных изменяющимися в течение суток переменными нагрузками на водоприемник. Обобщенный анализ смещений рабочих пунктов по высоте за период с сентября 2001 г. по июнь 2002 г. свидетельствует о том, что пункты, расположенные на разных берегах нижнего бассейна в южной его части имеют тенденцию к взаимному изменению высот на величину до 10 мм и более. На основе полученной информации было принято решение о продолжении слежения за смешениями пунктов геодинимического полигона Загорской ГАЭС.

#### ▼ Геофизические измерения

Из многообразия геофизических методов для решения вышеуказанных задач на геополитоне Загорской ГАЭС в 1979–1980 гг. и 1991–1995 гг. применялись вертикальное электрическое зондирование и электропрофилеирование методом двух составляющих, а также методы акустической эмиссии (АЭ) и межскважинного сейсмического просвечивания (МАП).

Анализ результатов наблюдений показал, что на основе использования данных методов представляется возможным решать следующие задачи:

— установление границ (на глубине) между статическими и динамическими участками склона;

— определение изменений

напряженно-деформированного состояния грунтов;

— выделение участков с различной степенью активности действия геодинимических процессов;

— оценка интенсивности микродеформационных процессов и процессов консолидации в массивах грунта.

Основные принципы организации сети геофизических наблюдений сводятся к следующим отличительным особенностям.

Наблюдения геофизическими методами за динамикой возникающих и развивающихся оползневых процессов проводятся в рамках сети специально оборудованных пунктов наблюдений, где стационарно монтируются установки для измерений одним или несколькими геофизическими методами. Пункты наблюдений располагаются по линии параллельных профилей, направленных вкост простирающихся основных структурных элементов геологического разреза. При наблюдениях за движущимся оползневым блоком профили располагаются вкост преобладающему направлению трещин отрыва.

Сеть наблюдений должна охватывать как оползневые или потенциально опасные участки, так и известные статические участки склона, что позволяет следить за временными изменениями измеряемого геофизического параметра в различных инженерно-геологических условиях и сравнивать полученные результаты.

Густота сети пунктов наблюдений для различных по масштабу геофизических методов должна быть неодинаковой и определяться степенью необходимой детальности исследований, а также экономическими возможностями организации данного вида работ. В предложенном комплексе геофизических методов к числу основных относится метод двух составляющих, с помощью которого ве-



дуются наблюдения за относительно большими объемами пород (на несколько порядков превышающими исследуемые объемы пород другими методами). Упомянутый комплекс достаточно информативен и позволяет решать поставленную задачу. В то же время организация наблюдений при этом не требует значительных трудозатрат. Наблюдения методом двух составляющих ведутся на всех пунктах наблюдательной сети, а результаты дают общее представление о временных изменениях геодинамической обстановки по глубине и площади исследований. Другие скважинные варианты геофизических наблюдений, базирующиеся на методах МАП и АЭ, используются при детальном исследовании в относительно меньших объемах пород. Стационарные установки для измерений указанными методами создаются выборочно на отдельных пунктах наблюдений и в определенном сочетании сейсмоакустических и электрометрических методов.

Организация сети наблюдений осуществляется в три этапа. На первом этапе проводится детальная геологическая съемка участка наблюдений с применением различных методов исследований. На основе полученных данных определяются точное местоположение участка для мониторинга, густота пунктов наблюдений, т. е. расстояние между профилями, а также пунктами наблюдений на профиле, состав комплекса методов наблюдений и параметры стационарных установок. На втором этапе осуществляется инструментальная разбивка и привязка пунктов наблюдений, монтируются стационарные установки, проводятся нулевые циклы наблюдений, оцениваются точность и надежность измерений. На третьем этапе проводятся циклы наблюдений по программе мониторинга, причем в процессе его осуществления уточняется периодичность данных циклов.

В соответствии с общими принципами проведения натурных наблюдений геофизические методы объединяются с геологическими, гидрогеологическими, геодезическими исследованиями. Затем схемы наблюдений геофизическими и другими методами согласуются для сопоставления результатов.

#### ▼ **Гидрогеологические изменения**

Одним из основных параметров, по которому оценивается состояние склона, является уровень подземных вод. В контурах правобережного склона в настоящее время в рабочем состоянии находится 121 опускной пьезометр. 77 из них фиксируют уровни в моренном горизонте в сантонских глинах, 18 — в сеноманском горизонте, 7 — в верхнеальбских глинах и 19 — в техногенных отложениях. Поскольку общее количество пьезометров значительное, а измерения уровней воды в них осуществляются с помощью ручного электроуровнемера, то контроль за этими параметрами крайне затруднителен.

В связи с отмеченными трудностями в рамках геодинамического полигона планируется создать опорную сеть из 30 пьезометров, расположенных в наиболее характерных точках склона, по которым с достаточной полнотой можно оценивать фильтрационную обстановку. В каждом из пьезометров будет установлен автоматизированный радиоуровнемер АРУ-1 с погружаемым датчиком, блоком питания и антенно-фидерным устройством. Уровень воды определяется автоматически с периодичностью интервалов, которые задаются с помощью программы. Кроме того, программное обеспечение позволяет представлять результаты измерений в табличном или графическом виде с последующей распечаткой.

На основе обобщения изложенных выше материалов можно сделать вывод о целесообразности

и необходимости использования комплексного подхода к изучению деформационных процессов в зоне расположения основных инженерных сооружений Загорской ГАЭС. Такой комплексный подход, базирующийся на различных физических принципах, позволяет с достаточной достоверностью выявлять природу тех или иных источников деформаций приповерхностных геологических структур, а также количественно оценивать величину деформаций, изменяющихся во времени и в пространстве.

Эффективному проведению упомянутых комплексных методов должна предшествовать тщательно обоснованная программа, учитывающая место и значимость каждого из принимаемых методов исследований, частоту измерений и количество точек наблюдений. Анализ получаемых при этом результатов открывает перспективу для разработки эффективных предохранительных мер, ориентированных на исключение негативных последствий, связанных с деформациями земной поверхности в пределах создаваемых геодинамических полигонов, включая расположенные на них инженерные сооружения.

#### ▼ **Список литературы**

1. Котюжан А.И., Юдкевич А.И. Устойчивость склонов на Загорской ГАЭС: уроки изысканий, проектирования и строительства // Гидротехническое строительство. — 1988. — № 12.
2. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса. — М.: Гидропроект, 1997.
3. Карлсон А.А., Клементьев В.С., Черненко В.Н. Геодезический контроль устойчивости склонов и сооружений Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. — 2000. — № 4.
4. Генике А.А., Черненко В.Н. Исследование деформационных процессов на Загорской ГАЭС спутниковыми методами // Геодезия и картография. — 2003. — № 2.