

УДК 699.8:551.448

**О.Е. Кобыща, В.И. Клевеко**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБСЛЕДОВАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗДАНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Описываются особенности эксплуатации, обследования и обслуживания зданий, построенных на закарстованных территориях. Данная тема заслуживает внимания, поскольку карстовые районы широко распространены на территории России и относятся к районам с особыми условиями строительства. Также приводится описание основных видов карстомониторинга.

**Ключевые слова:** карст, закарстованные территории, противокарстовые мероприятия, противокарстовая защита, карстомониторинг.

Под карстом понимается совокупность геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, обусловленных в первую очередь растворяющим и выщелачивающим воздействием вод (подземных и поверхностных) на растворимые горные породы и грунты (карбонатные, сульфатные, галоидные) с образованием в них и на поверхности вторичных пор, каверн, пещеристых полостей разных форм и размеров, закарстованных трещин, ослабленных (неуплотненных, разуплотненных) зон с нарушением и изменением структуры и свойств пород. Карст сопровождается суффозией, эрозией (в том числе подземной), гравитационными и другими процессами, деформациями земной поверхности, ее своеобразным рельефом, особым режимом и характером циркуляции подземных и поверхностных вод [1].

К закарстованным территориям, или районам развития карста, следует относить не только площади с проявлением карста на земной поверхности, но и те, что содержат в геологическом разрезе стометровой глубины водорастворимые [1] горные породы существенной мощности при наличии (или прогнозе) других обязательных условий карстообразования (наличие растворимых пород; трещиноватости пород, обеспечивающей проникновение воды; растворяющей способности воды) [2].

Карстовые районы, широко распространенные на территории России (в европейской части, на Урале, в Сибири, Средней Азии, Казахстане и на Кавказе), относятся к территориям с особыми условиями строительства.

Особые условия промышленного, жилищного и гражданского строительства в карстовых районах связаны в основном с провалами, а также постепенными оседаниями земной поверхности. Кроме того, приходится учитывать особенности гидрогеологических условий, неравномерную несущую способность закарстованных горных пород с наличием ослабленных зон и др. Важно также иметь в виду возможность активизации карста и связанных с ним процессов при искусственном изменении природных условий.

Промышленное, жилищное и гражданское строительство в карстовых районах осуществляется в больших масштабах (г. Казань, Уфа, Североуральск и др.). Карстовые явления вызывают большие затруднения при строительстве и использовании территорий, затрачиваются значительные средства на специальные изыскания и мероприятия по защите от вредного влияния карста. Ведь недоучет особенностей карстовых районов приводит к деформациям и авариям зданий и сооружений. Именно поэтому так важно учитывать особенности эксплуатации, обследования и обслуживания зданий, построенных на закарстованных территориях.

Объектам строительства на закарстованных территориях должно быть уделено повышенное внимание на всех стадиях эксплуатации строений, поскольку масштабы деформаций зданий и сооружений под воздействием карста более значительны, чем в инженерно-геологических условиях, не предрасположенных к проявлению опасных геологических процессов.

Строительное освоение закарстованных территорий должно проводиться таким образом, чтобы исключить активизацию карстово-суффозионных процессов. На случай активизации карста (подъем уровня подземных вод, подземный забор воды и др.) в проекте должны быть предусмотрены соответствующие компенсационно-восстановительные мероприятия и необходимая индивидуальная система карстомониторинга и оповещения [2].

Защита существующих зданий старой постройки, оказавшихся на закарстованной территории с признаками карстопроявлений, выпол-

няется после исследования инженерно-геологической обстановки по специальной проектной документации, подготовленной по материалам изысканий площадки, обследования и диагностики технического состояния здания в индивидуальном порядке.

Для инженерной защиты зданий и сооружений от карста применяют следующие противокарстовые мероприятия или их сочетания:

- планировочные;
- водозащитные и противодиффузионные;
- геотехнические (укрепление оснований);
- конструктивные;
- технологические;
- эксплуатационные [2].

Как правило, вид противокарстовой защиты определяется в результате инженерно-геологической съемки и разведки.

Условием выбора видов противокарстовой защиты является проведение тщательного анализа: основных особенностей защищаемых объектов (класс ответственности, расчетный срок службы, конструктивные решения, размеры активной зоны основания, нагрузки, технологический режим, условия строительства и эксплуатации и т.д.); инженерно-геологической обстановки, выявленной в результате инженерных изысканий (наличие или отсутствие подземных карстовых форм и ослаблений грунта в активной зоне основания или за ее пределами, тип и размеры возможных карстовых деформаций в основании сооружений, механизм карстовых деформаций с учетом влияния на него возможных техногенных воздействий и т.д.).

Составным элементом противокарстовых мероприятий эксплуатационного характера является карстологический мониторинг объектов. Для особо ответственных экологически опасных объектов, расположенных на территориях I–IV категорий устойчивости, его проведение обязательно.

Карстомониторинг – основы оптимального освоения закарстованных территорий и один из способов противокарстовой защиты. Под ним понимается, в первую очередь, слежение за состоянием территории, условиями и основными (включая техногенные) факторами карстообразования и опасными (для устойчивости) карстопроявлениями; сбор, обработка, обобщение данных, их хранение и (при целесообразности) распространение; своевременное предупреждение (прогноз)

создаваемых (возможных) критических ситуаций, периодическая (квартальная, полугодовая, ежегодная) передача информации о результатах работ административным органам и (или) заказчику; принятие (постановка) новых задач; корректировка программы исследований с целью разработки и коррекции противокарстовых мероприятий, контроля за выполнением принятых решений, оптимального управления негативными процессами (карстовыми и им сопутствующими) или системой «карст – основание – сооружение» в целом [2].

Организация комплексного карстомониторинга (или его элементов) по специально разработанной программе (с обоснованием видов и объемов работ и частоты наблюдений) целесообразна на репрезентативных и ключевых участках карстовых районов, в населенных пунктах, на объектах повышенного уровня ответственности и экологического риска, в жилых и промышленных зданиях без достаточной противокарстовой защиты, расположенных на карстоопасных площадях.

В ассортимент контролируемых при карстомониторинге параметров геологической среды в зависимости от конкретной техноприродной обстановки включаются следующие данные (показатели):

- площадная поражаемость территории;
- основные параметры карстопроявлений;
- частота карстовых деформаций;
- приращение их площади и глубины;
- скорость растворения пород;
- уровни и химический состав (агрессивность) подземных (возможно, и поверхностных) вод, их температура и скорость движения;
- вариации значимых геофизических полей;
- показатели водно-физических свойств грунтов.

Выявление предкритической (предаварийной) ситуации на объекте и сверхнормативных деформаций сооружений должно стать аргументом для оценки состояния объекта специально созданной комиссией, в состав которой обычно включаются представители администрации населенного пункта (муниципального образования), владельца сооружения, проектной, изыскательной и строительной организаций, а также предприятия, выполняющего функции территориальной изыскательской организации.

Система карстомониторинга должна соответствовать требованиям [3].

Таким образом, для оценки карста используются следующие виды мониторинга:

- 1) маршрутно-визуальное обследование (наземное, дистанционное);
- 2) аэрофотосъемка;
- 3) гидрогеологический мониторинг с использованием режимных скважин;
- 4) геодезический мониторинг с использованием GPS и лазерных технологий;
- 5) геофизический мониторинг с использованием наземных, скважинных и межскважинных наблюдений.

Рассмотрим некоторые из них.

### *Геодезический мониторинг*

Большое значение для реального контроля технического состояния зданий и сооружений имеет аппаратное обеспечение этого процесса. Для проведения инструментального мониторинга желательно уже при разработке проектно-сметной документации предусматривать монтаж в возводимом объекте технических систем, контролирующих состояние отдельных элементов и конструкции в целом, осуществляющих отображение и сбор данных о влажности, деформациях, температуре, напряжениях и т.п. в характерных точках сооружения или строительного объекта. Система мониторинга технического состояния должна обеспечивать сбор информации о показателях, характеризующих состояние сооружения, например деформации, напряжении, влажности, температуре и т.д., передачу ее в центр обработки информации, автоматическую обработку и отображение в виде, приемлемом для принятия решений персоналом, несущим ответственность за эксплуатацию объекта. Иными словами, современный подход к вопросам безопасности объектов требует разработки систем автоматического контроля еще на стадии проектирования с учетом основных конструктивных и функциональных особенностей сооружений, с последующей их реализацией при строительстве и эксплуатации. Эти системы должны обеспечивать автоматическое измерение деформационных параметров в режиме онлайн с последующей математической обработкой и представлением данных в доступном виде. На основе анализа результатов обработки данных об эволюции измеренных параметров и математического моделирования деформационных процессов в ком-

плексе «грунтовое основание – фундамент – сооружение» системы мониторинга должны позволять делать заключение о закономерностях деформационных состояний сооружения, а также прогнозировать его дальнейшее поведение.

*Инструментальный мониторинг* конструкций и оснований зданий опирается в основном на четыре класса методик:

- 1) геодезические измерения;
- 2) инженерно-геологические наблюдения;
- 3) измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и надземной части;
- 4) сейсмометрические методики.

#### *Геодезические измерения*

Методика геодезического мониторинга для сооружений должна быть разработана с учетом возможных геологических, технологических и технических причин возникновения деформаций (изучение инженерно-геологических особенностей территории застройки, расчетных величин нагрузок и деформаций), а также требований к необходимой точности измерений [4].

Деформации рассматриваемых объектов могут иметь сложный пространственный характер, который зачастую невозможно выявить в полном объеме в ходе традиционной вертикальной геодезической съемки. На сегодняшний день пространственные геометрические характеристики деформационных процессов могут быть определены с применением целого ряда разнообразных геодезических методов и современных приборов. Перспективными геодезическими средствами, используемыми для решения задачи пространственно-координатного мониторинга, являются приборы GPS-позиционирования (рис. 1), которые на современном этапе позволяют определять пространственные координаты точек с точностью до 1 см, что для сооружений с возможными горизонтальными перемещениями порядка нескольких десятков сантиметров представляет довольно высокую точность.

Для периодического контроля пространственного положения объектов могут быть использованы современные электронные тахеометры, отвечающие заданным требованиям к точности измерения деформаций сооружений [4]. В качестве автоматизированных систем непре-

рывного контроля перемещений сооружений наиболее распространены на сегодня решения, представленные такими производителями, как Trimble Navigation и Leica Geosystem (рис. 2).



Рис. 1. Фазовый двухчастотный GPS-приемник Trimble 5700



*a*



*б*

Рис. 2. Станции автоматического мониторинга:  
*a* – Trimble S8; *б* – Leica TCRP1201 R300

Безотражательные тахеометры позволяют с высокой точностью производить съемку недоступных для установки отражательных призм точек на фасадах зданиях. Возможность автоматизированных измерений обеспечивает система самонаведения приборов на специальные активные отражатели (технология Autolock).

Наряду с рассмотренными выше актуальным методом мониторинга на сегодняшний день является лазерное сканирование. Оно зарекомендовало себя как высокопроизводительная технология, которая может эффективно применяться для решения проблемы пространственно-координатного мониторинга объектов большой сложности и насыщенности. Точность измерений лазерных сканеров лежит в диапазоне от 1 до 10 мм на расстояниях до 1000 м, при этом количество измерений в секунду может составлять до 100 000 точек (рис. 3).

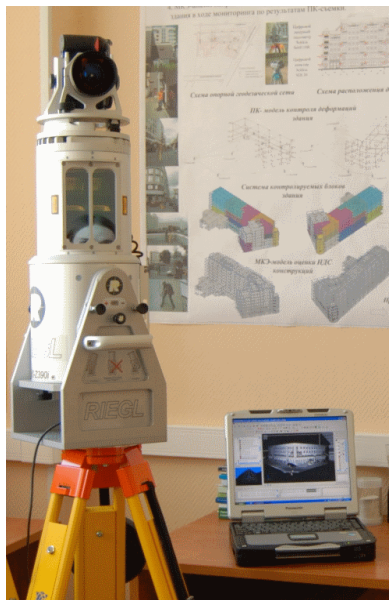


Рис. 3. Наземный лазерный сканер Riegl-Z390i

### *Инженерно-геологические наблюдения*

Инженерно-геологические наблюдения позволяют оценить состояния грунтового массива в основании и в окрестности здания. Существует набор схем как разной трудоемкости и стоимости, так и разной разрешающей способности и информативности – от измерений в отдельных скважинах до межскважинного просвечивания (вплоть до получения трехмерного томографического изображения). В зависимости от выбора датчиков можно вести мониторинг дифференциальных (послойных) или суммарных осадок грунтов основания, уровня воды, порового давления в породах (параметра, используемого в расчетах за рубежом). Также важную информацию получают при размещении под



фундаментной плитой сети датчиков давления на грунт, в сваях – вертикальных нагрузок.

Наблюдения могут вестись непрерывно или достаточно часто по времени, т.е. есть возможность следить за особенностями динамики объекта.

*Измерения нагрузок и деформаций в конструкциях  
фундамента и надземной части*

Метод измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и наземной части также предполагает наличие набора инструментов. Система мониторинга несущих конструкций предназначена для контроля строительных конструкций здания.

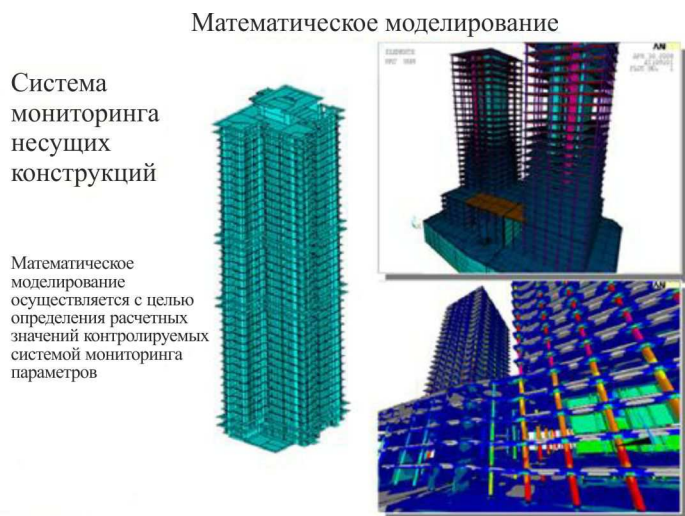


Рис. 4. Математическое моделирование

Система мониторинга несущих конструкций разрабатывается на этапе проектирования, устанавливается в процессе возведения здания и используется для мониторинга несущих конструкций во время строительства и эксплуатации объекта. Для создания системы на этапе проектирования определяют перечень контролируемых конструкций и параметров, рассчитывают допустимые значения и отклонения параметров с использованием технологий математического моделирования (рис. 4). Во время строительства осуществляется установка датчиков системы мониторинга (состав датчиков определяется на этапе проектирования). В качестве датчиков могут использоваться тензо-

метры, датчики давления, вибродатчики (велосиметры, акселерометры), GPS/ГЛОНАСС-приемники, автоматизированные тахеометры, наклонометры и др.

### *Сейсмометрические методики*

Следует отметить, что если первые три типа наблюдений дают в основном «прямую» информацию (величины осадок, нагрузок и пр.), то регистрация колебаний требует как достаточно сложной предварительной обработки, так и создания моделей динамики сооружения. Особенностью сейсмометрических методик является то, что схемы наблюдений могут быть достаточно простыми (вплоть до одной точки). Кроме того, они не только дают возможность контролировать величины ускорений, но и, как показано ниже, позволяют судить о совместной работе здания и грунтов основания, в том числе выявить неизвестные ранее явления.

Комплексирование первых трех типов мониторинга с сейсмометрическими наблюдениями позволяет связать между собой все получаемые данные. Важным вопросом организации сейсмометрического мониторинга является подбор датчиков и их размещение. Основные параметры для выбора типа датчика – частотный диапазон и чувствительность. Несомненно, что сейсмометр должен регистрировать собственные колебания основного тона и нескольких более высоких гармоник. Для высотных зданий основной тон лежит в диапазоне менее 1 Гц (обычно 0,2–0,8 Гц), частоты выше 25–30 Гц регистрировать нецелесообразно (полезный сигнал маскируется промышленными помехами). Таким образом, мониторинг должен вестись датчиками, ориентированными на сейсмологические наблюдения. В настоящее время опробованы различные типы датчиков:

– велосиметры – российские С-5-С, СМ-3, КМВ (конструкции ИФЗ РАН) и зарубежные – фирмы Guralp CMG-3ESPC (трехкомпонентный широкополосный с частотным диапазоном от 100 с (0,01 Гц) до 50 Гц и чувствительностью  $2 \cdot 10\,000$  В/м/с);

– акселерометры – конструкции ИФЗ РАН и фирмы Guralp CMG-5T (трехкомпонентный форс-балансный).

Обобщая вышесказанное, представим современные системы мониторинга и обеспечения безопасности объектов в виде следующих систем:

- 1) система мониторинга основания и строительных конструкций (система мониторинга несущих конструкций);
- 2) система мониторинга инженерно-технического обеспечения (система мониторинга инженерных систем – СМИС);
- 3) система комплексного обеспечения.

Система мониторинга инженерных систем предназначена для автоматизированного сбора информации от инженерных систем объекта, контроля возникновения дестабилизирующих факторов и передачи оперативной информации по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в единую систему оперативно-диспетчерского управления города. СМИС представляет собой аналог черного ящика, устанавливаемого на борту самолета. СМИС – это самописец, предназначенный для фиксации нештатной ситуации и передачи ее в городские службы в установленном виде. Перечень контролируемых систем и контролируемых параметров СМИС, а также регламенты взаимодействия определяются на стадии проектирования. Для реализации СМИС используется специальное программное обеспечение. Оно предназначено для сбора контролируемых параметров от инженерных систем объекта, настройки правил обработки сообщений и передачи их в городские службы, прогноза возникновения нештатной ситуации на объекте.

### *Геофизический мониторинг*

Геофизический мониторинг является, по существу, специфическим видом мониторинга окружающей среды, осуществляемого в целях оценки и прогнозирования экологически опасных природных, природно-техногенных и техногенных геологических процессов. Обычно геофизический мониторинг используется для получения оперативной информации, позволяющей выявить изменения, происходящие в верхних слоях литосферы или гидросферы, с точки зрения их соответствия допустимым нормам и критериям качества и безопасности окружающей среды. Прогноз этих изменений во времени дает возможность принять оперативные управленческие решения по стабилизации неблагоприятных техногенных воздействий или защите от природных геологических катастроф.

Основными задачами геофизического мониторинга являются:

- наблюдение за состоянием литосферного пространства и геофизическими полями;

- выделение составляющих, обусловленных техногенными факторами;
- выделение аномалий геофизических полей, обусловленных развитием экологически опасных геологических процессов;
- формирование динамических ФГМ для прогнозирования состояния геологической среды на ближайшую и отдаленную перспективы.

Возможности геофизического мониторинга определяются универсальностью и многофакторностью геофизической информации, позволяющей характеризовать геометрию, свойства геологических тел любых размеров, а также их изменения во времени. Непосредственное измерение пространственной структуры и временных вариаций электромагнитных, радиоактивных, тепловых полей, полей упругих колебаний дает количественную информацию о напряженном состоянии и физико-механических свойствах массивов горных пород; позволяет изучать их анизотропию; фиксировать колебания минерализации и уровня подземных вод; определять главные направления воздействия антропогенных нагрузок. Геофизические измерения можно повторять неоднократно, поскольку они не влияют на окружающую среду. Меняя частоты физических полей, размеры установок и их ориентировку в пространстве, геофизик может оперативно изменять по своему усмотрению объем изучаемых пород и глубину исследования.

В настоящее время в организации геофизического мониторинга применяются комплексы методов с различной физической основой, различных технологий. Среди последних можно выделить комплексы, использующие дистанционные (космические и аэровысотные), наземные, аквальные, подземные (скважинные и шахтные) технологии. Такие важные особенности указанных комплексов, как различная обзорность, разномасштабность, разрешающая способность и детальность получаемой информации, дают возможность осуществлять многоуровневый (от глобального до детального уровня) пространственный мониторинг природных и природно-техногенных процессов.

#### *Геофизический мониторинг карстовых процессов*

Геофизический мониторинг наиболее эффективен при изучении техногенных карстовых процессов. При его организации можно использовать как однометодные, так и комплексные режимные наблюдения. Примером применения однометодного мониторинга (наземных электрометрических методов) для изучения интенсивности техногенных карстовых процессов в хорошо растворимых породах могут слу-

жить исследования, выполненные вблизи одного из крупных химических заводов на р. Оке. Производство серной кислоты на этом заводе привело к непредвиденному привносу кислотных растворов в подземные воды, что повлекло за собой повышение агрессивности вод по отношению к присутствующим в разрезе гипсоносным породам. В результате процесс карстообразования в этих породах усилился.

Стали увеличиваться существующие и возникать новые полости, образовались протяженные водотоки, по которым растворенные вещества начали выноситься в реку. Наземные наблюдения методом сопротивлений и измерения электропроводимости воды в реке позволили выяснить положение основных водотоков и оценить развитие карстового процесса во времени (рис. 5). На графиках  $\rho_k$ , снятых вдоль профилей наблюдений в последовательные моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , карстовые водотоки выделяются углубляющимися и расширяющимися минимумами сопротивлений, свидетельствующими о постепенном развитии полостей. Одновременно зоны пониженных сопротивлений, установленные по данным резистивиметрии в реке, фиксирующие участки выноса растворенных веществ, значительно увеличились по площади. Результаты геофизических исследований послужили основанием для проектирования специальных устройств, уменьшающих возможность загрязнения окружающей среды.

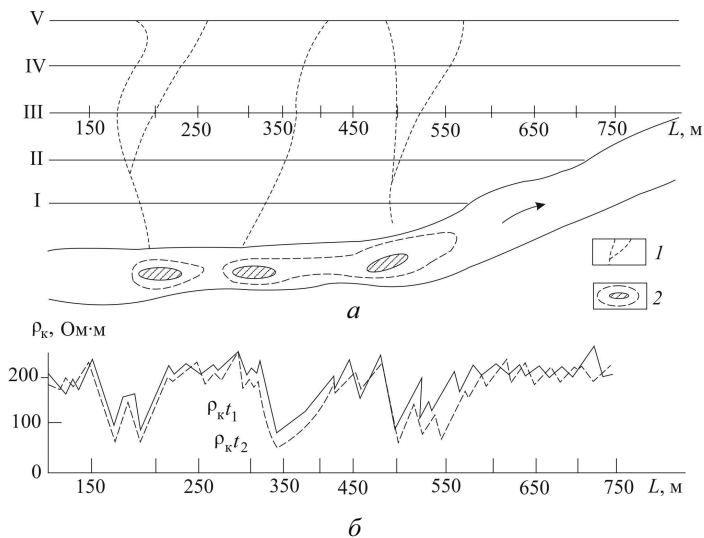


Рис. 5. Картирование водотоков в карстовом районе: *а* – план; *б* – графики изменения  $\rho_k$  по профилю III в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ ; I–V – профили наблюдений; 1 – водотоки; 2 – зоны разгрузки (повышенная проводимость воды) в реке

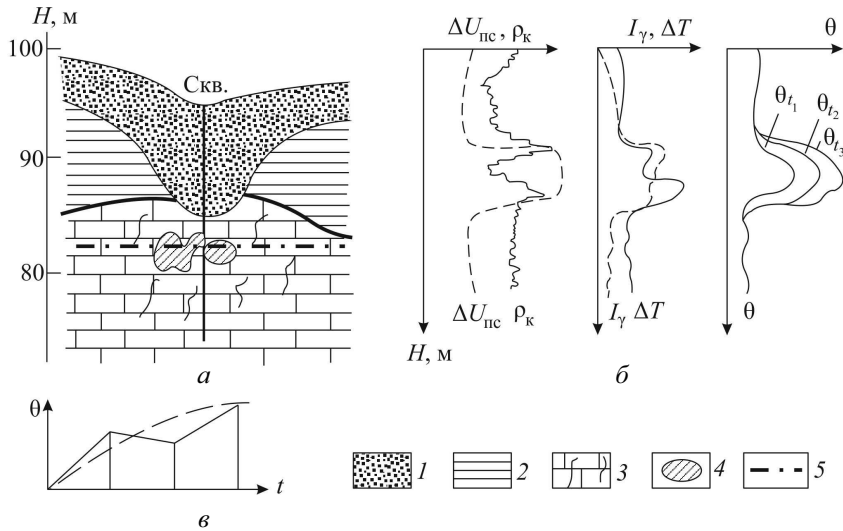


Рис. 6. Результаты комплексных наблюдений при изучении карстово-суффозионного процесса: *а* – геологический разрез; *б* – каротажные диаграммы и график изменения во времени комплексного показателя  $\theta = f(t)$ ; *в* – режим средних значений комплексного показателя  $\theta$  в изучаемом интервале глубин; 1 – пески; 2 – глины; 3 – закарстованные известняки; 4 – карстовые полости; 5 – уровень подземных вод

Примером комплексного геофизического мониторинга техногенного карстового процесса могут служить режимные скважинные исследования на одном из участков интенсивной откачки подземных вод в Подмоскowie (рис. 6). Здесь в целях изучения суффозии глинистого заполнителя карстовых полостей проводились долговременные каротажные наблюдения в необсаженных интервалах гидрогеологических скважин. Карстовые полости в карбонатных отложениях, заполненные переотложенным глинистым материалом, фиксировались на диаграммах отрицательными аномалиями кажущихся сопротивлений  $\rho_k$  и положительными аномалиями ПС  $\Delta U_{пс}$  гамма-активности  $I_\gamma$  и интервального времени  $\Delta T$ . Интенсивность аномалий менялась вдоль разреза вследствие неравномерности раскрытия карстовых полостей и различного содержания глинистого заполнителя. График комплексного показателя  $\theta = \sum |\gamma_i|$ , где  $\gamma_i$  – контрастность аномалии, даваемой конкретным геофизическим методом, позволил в начальный период наблюдений  $t_1$  надежно выделить в разрезе зону закарстованных пород. Процесс суффозии глинистого заполнителя карстовых полостей нашел отражение на каротажных диаграммах, снятых в последовательные моменты времени  $t_1, t_2, t_3$  (изменение знаков и амплитуд аномалий  $\rho_k$ ,

$\Delta U_{\text{ПС}}$ ,  $I_{\gamma}$  и  $\Delta T$ ). Графики комплексного показателя  $\theta$  дали возможность более четко выделить особенности раскрытия карстовых полостей в каждый момент наблюдений. Режим средних значений этого параметра для всего интервала проявления суффозии  $\theta_{\text{ср}} = f(t)$  позволил описать динамику изучаемого процесса.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что необходимо учитывать особенности обследования и обслуживания зданий, построенных на закарстованных территориях, на всем протяжении их эксплуатации, осуществляя все мероприятия в комплексе.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 25100–95. Грунты. Классификация. – М.: Стройиздат, 1995.
2. ТСН 22-304–06. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006.
3. ГОСТ Р 22.1.01. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. – М.: Госстандарт России, 1996.
4. Мониторинг как инструмент безопасности технически сложных, уникальных, высотных объектов / Н.Г. Бурсов, Г.А. Туровец, А.П. Хандогин, С.Г. Хлыстов // Архитектура и строительство. – 2011. – № 2 (220).

Получено 1.10.2012

**О.Е. Kobyshcha, V.I. Kleveko**

### **FEATURES OF OPERATION, INSPECTION AND SERVICE OF BUILDINGS IN KARSTIC TERRITORIES**

In the presented publication features of operation, inspection and service of the buildings constructed in karstic territories are described. The given theme is worthy, as karstic areas widespread Russia in territory and concern areas with special conditions of building. Also in article the description of principal views a monitoring karst is resulted.

**Keywords:** karst, karstic territories, protection against a karst, a karst monitoring.

### **Сведения об авторах**

**Кобыща Оксана Евгеньевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника», ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Клевеко Владимир Иванович** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

### **About the authors**

**Kobyscha Oksana Evgenievna** (Perm, Russia) – student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Kleveko Vladimir Ivanovich** (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).