

УДК 550.832:622.241

А. Г. Меховников, Г. А. Зайчикова  
ООО НПП «ИГИС»

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ОБЪЕКТАХ ГРАЖДАНСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ г. УФЫ)

Рассмотрен комплекс методов для изучения строения и состояния массива пород на объектах гражданского и промышленного строительства в области развития опасных экзогенных процессов. Показана эффективность применения комплекса методов наземной сейсморазведки, межскважинной сейсмической томографии и геофизических исследований скважин для оценки структурно-тектонического строения, состояния и степени закарстованности массива пород, а также физико-механических свойств пород.

*Ключевые слова:* инженерная геофизика, тектоническое строение, массив горных пород, закарстованность, физико-механические свойства.

Создание инженерных сооружений, к которым относятся объекты гражданского и промышленного строительства, ведет к образованию природно-технической системы «сооружение – геологическая среда». Оба ее элемента находятся в постоянном взаимодействии, что предъявляет определенные требования к проектированию, возведению и эксплуатации сооружений с учетом реакции геологической среды на техногенные воздействия, а также требований к ее охране от негативных изменений.

Для того чтобы правильно вписать сооружение в геологическую среду, запроектировать оптимальные тип, конструкцию, технологию возведения и режим эксплуатации, назначить эффективную систему инженерной защиты застраиваемой территории и самих сооружений, необходимо иметь достаточно полные знания об инженерно-геологическом строении массива пород, о тех процессах, которые происходят и могут развиваться в период эксплуатации сооружения.

Как известно, территория Уфы и прилегающих районов имеет довольно сложное геологическое строение, характеризующееся резкой вертикальной и горизонтальной изменчивостью физико-механических свойств пород и их анизотропией, сложным структурно-тектониче-

ским строением, переменным фазовым составом порозаполнителей и др. Кроме этого, геологический разрез территории Уфы и многих регионов Башкортостана осложнен интенсивным развитием опасных экзогенных процессов (карст, суффозия, оползни), которые могут оказывать и оказывают весьма негативное влияние (возникновение аварийных ситуаций, влияющих на безопасность проживания людей) при эксплуатации зданий и сооружений.

При инженерно-геологических исследованиях с целью проектирования и строительства гражданских и промышленных объектов одним из основных технических средств до настоящего времени остается колонковое бурение с ограниченным комплексом методов геофизических исследований скважин (ГК, КС, кавернометрия и в лучшем случае плотностной гамма-гамма-каротаж (ГГК-П)). Наиболее значительным недостатком существующей технологии инженерно-геологических изысканий является дискретный, точечный характер исследований массива по разрезам отдельных скважин, не обеспечивающий даже при весьма густой их сети достоверного объемного представления о геологическом строении в межскважинном пространстве, пространственной изменчивости инженерно-геологических характеристик в массиве под проектируемыми и существующими зданиями и сооружениями.

Повышение эффективности инженерно-геологических исследований для проектирования объектов гражданского и промышленного строительства в значительной мере связано с комплексированием стандартных методов инженерно-геологических исследований (бурение, статическое зондирование и пр.) и наземно-скважинных методов геофизики. Это позволит обеспечить объемное, детальное и достоверное изучение геологической среды, опасных геологических процессов и явлений, прогнозирование последствий техногенного вмешательства в сложнейших инженерно-геологических условиях.

Современное развитие геофизических методов открыло новые возможности их применения при решении самых разнообразных инженерно-геологических, технических, технологических и гидро-геологических задач при исследовании массивов горных пород для проектирования объектов гражданского и промышленного строительства, мониторинга их состояния в период эксплуатации, контроля качества укрепления грунтов. Применение современных аппаратурно-методических комплексов наземно-скважинных геофизических

методов позволяет по-новому и с большей достоверностью решать геологические задачи.

В настоящее время при инженерно-геологических изысканиях для решения различных задач используется достаточно широкий комплекс геофизических методов: методы наземной и скважинной электро-разведки (ВЭЗ, ВП, ЗСБ, различные методики электротомографии, КС, ПС, резистивиметрия и др.), георадарные исследования, а также различные методы, методики и технологии скважинной и наземной сейсморазведки (МОВ, МПВ, ВСП, МССТ).

Опыт работ в городских условиях, на территориях промышленных объектов г. Уфы Республики Башкортостан, других регионов России и ближнего зарубежья (в условиях достаточно высокого уровня электрических и механических помех, требуемой детальности исследований и пр.) показал, что одним из наиболее оптимальных комплексов геофизических методов для решения различных инженерно-геологических задач (изучение геологического строения, физического состояния и пр.), а также геотехнических задач (изучение карстово-суффозионных опасных зон под зданиями и сооружениями для разработки проекта укрепления грунтов и дальнейшего контроля качества укрепления и мониторинга) является комплекс наземно-скважинных методов сейсморазведки и геофизических исследований скважин [1, 3–6].

В состав комплекса наземно-скважинной сейсморазведки входят следующие методы:

– *метод отраженных волн (МОВ)*. Основные задачи, решаемые методом, – оценка структурно-тектонического строения и физического состояния массива пород до глубин 100–200 м;

– *метод преломленных волн (МПВ)* с регистрацией двух типов упругих волн – продольной и поперечной. Основные задачи метода – оценка физико-механических свойств пород, изучение оползневых процессов, оценка сейсмических свойств массива грунтов (микросейсмораионирование) и др.;

– *вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)* на основе трехкомпонентной регистрации упругих волн в геологических скважинах. Основные задачи – расчет упруго-деформационных и прочностных свойств пород, залегающих в естественно-напряженных условиях массива околоскважинного пространства, а также литолого-стратиграфическая привязка данных наземной сейсморазведки к геологическому разрезу объекта изысканий;

– *метод скважинной сейсмоакустической томографии (МССТ)*. Метод основан на детальном изучении геологической среды в межскважинном пространстве на основе «просвечивания» ее упругими волнами. При «просвечивании» между тремя и более скважинами возможно построение объемной модели среды (3D-исследования). Является одним из основных геофизических методов для изучения закарстованных территорий. Позволяет оценить физическое состояние, степень закарстованности, выявить карстовые зоны, полости, физико-механические свойства заполнителей полости и окружающей среды как по внешним сторонам здания, так и непосредственно под зданием, сооружением, где развиваются опасные карстово-суффозионные процессы. МССТ также является основным методом для решения геотехнических задач по разработке проекта укрепления массива пород и контроля качества укрепления, а также для дальнейшего мониторинга, и находит широкое применение не только в инженерной геологии, но и в области нефтегазовой, рудной и угольной геологии;

– *методы геофизических исследований скважин (ГИС)*. Это стандартный комплекс каротажа обязательного применения в инженерно-геологических скважинах, и являющийся составной частью паспорта скважины в составе методов гамма-каротажа (ГК), плотностного гамма-гамма-каротажа (ГГК-П), кавернометрии, резистивиметрии, термометрии и методов электрического каротажа.

Представленный комплекс инженерно-геофизических методов широко использовался для решения инженерно-геологических задач по изучению карста на территориях г. Уфы Республики Башкортостан, Республики Татарстан (гг. Казань, Зеленодольск, Нижнекамск и др.). Комплекс методов наземной и скважинной геофизики применялся и применяется для решения других инженерно-геологических и геотехнических задач в различных регионах России (Сахалин, Хабаровский край, Кольский п-ов, гг. Екатеринбург, Челябинск, С.-Петербург, Туапсе, Сочи и др.) и ближнего зарубежья (Казахстан, Белоруссия) [1, 2].

В качестве примера возможностей комплекса методов наземно-скважинной сейсморазведки и комплекса ГИС далее приводятся результаты исследований на территории аварийного дома № 4 по Уфимскому шоссе. Основные задачи исследований:

– оценка структурно-тектонического строения и физического состояния массива пород методом МОВ до глубины 100 м (территории, прилегающей к домам № 4, 4/1);

– оценка физико-механических свойств пород в условиях естественного залегания в массиве околоскважинного пространства методом ВСП в комплексе с методами ГК и ГК-П;

– оценка состояния массива пород, степени закарстованности, а также упругих, прочностных и плотностных свойств массива пород под аварийным участком дома № 4 и прилегающей территории методом МССТ в комплексе с методом ВСП. Схема исследований приведена на рис. 1.

По результатам геофизических исследований комплексом представленных методов и данным бурения скважин были сделаны следующие выводы.

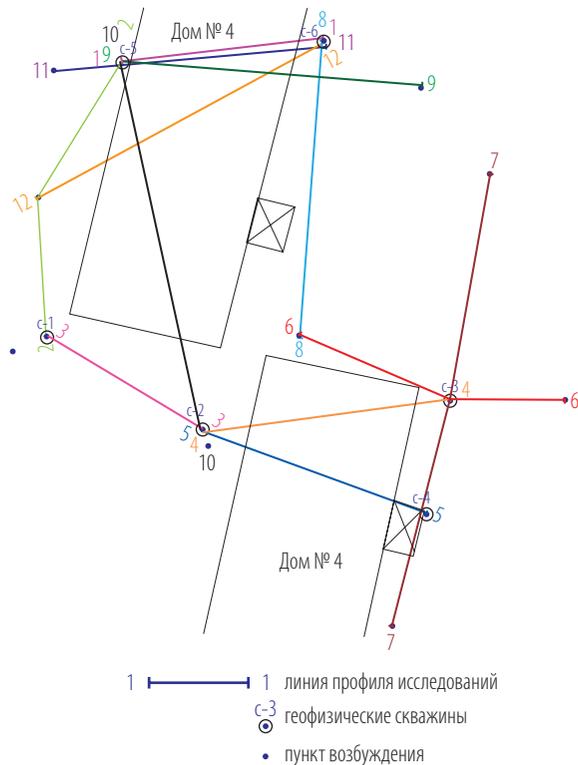


Рис. 1. Схема расположения скважин

По результатам наземных сейсморазведочных исследований методом МОВ (по особенностям сейсмогеологических разрезов) изучаемый массив пород вблизи домов и прилегающей территории характеризуется сложным структурно-тектоническим строением. Наиболее сложное структурно-тектоническое строение отмечается в массиве пород соликамского горизонта и кунгурского яруса. По общему структурному характеру изучаемый массив пород находится в пределах достаточно крупной по линейным размерам в пространстве куполообразной структуры с центром вблизи площадки исследуемых домов, осложненной нарушениями, в основном разрывного характера, со смещением слоев. Массив пород соликамского горизонта уфимского яруса и подстилающих пород кунгурского яруса имеет явно выраженное блоковое строение. Блоки относительно сохранных пород имеют различные размеры, формы и разделяются крупными ослабленными по физическим свойствам субвертикальными, сильнотрециноватыми зонами, являющимися в структурном плане плоскостями смещения (сместителями тектонических нарушений). Изучаемый массив пород находится в зоне сопряжения тектонических нарушений различной ориентации, очень сложного генезиса.

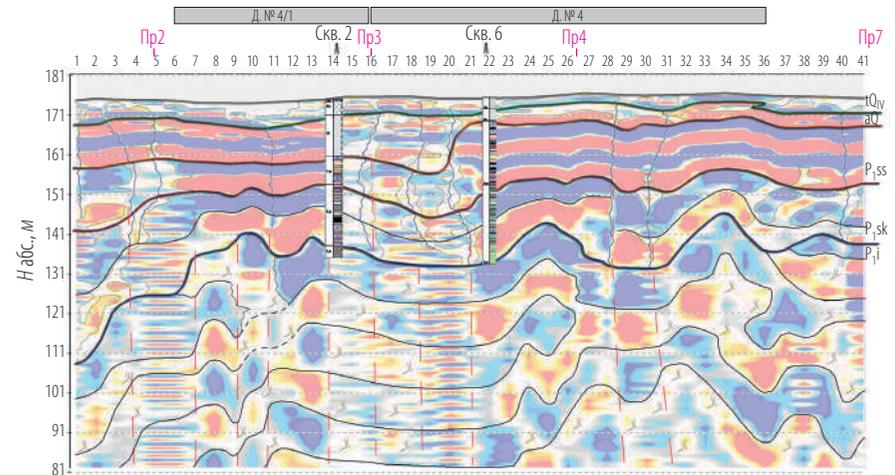


Рис. 2. Сейсмогеологический разрез по профилю 5

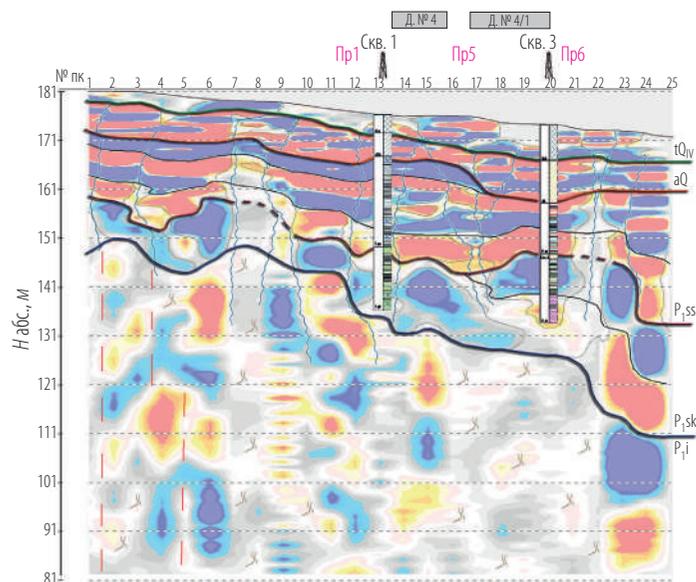


Рис. 3. Сейсмогеологический разрез по профилю 3

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены сейсмогеологические разрез по профилям 5 и 3, построенные по данным метода МОВ и характеризующие строение массива в непосредственной близости к зданиям домов № 4 и № 4/1.

По результатам вертикального сейсмического профилирования скважин были рассчитаны физико-механические свойства пород, вскрытых скважинами, в условиях их естественного залегания в массиве околоскважинного пространства. Изученные грунты четвертичных и уфимских отложений в пределах аварийного участка дома № 4 и прилегающей территории характеризуются очень низкими упруго-деформационными и прочностными свойствами.

По результатам сейсмотомографических исследований массива пород участка аварийного дома № 4, примыкающей северной части дома № 4/1 и дворовой территории была построена объемная модель упругих, упруго-деформационных и прочностных свойств изученного массива пород, которая характеризует физическое состояние изученного массива пород.

На рис. 4–6 приведены примеры геотомографических разрезов и сечений в плане, характеризующие упруго-деформационные и прочностные свойства массива пород под аварийным участком здания дома № 4 и прилегающей территории.

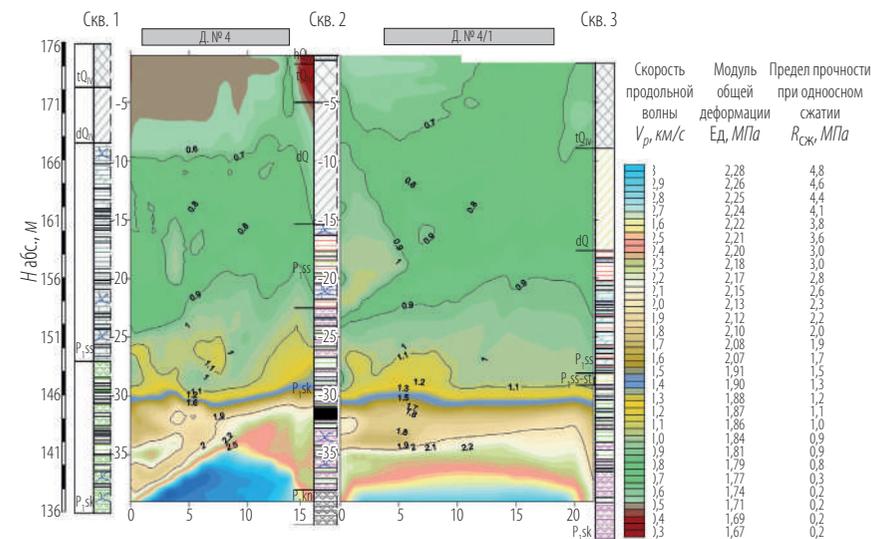


Рис. 4. Сейсмотомографический разрез по линии скв. 1 – скв. 2 – скв. 3

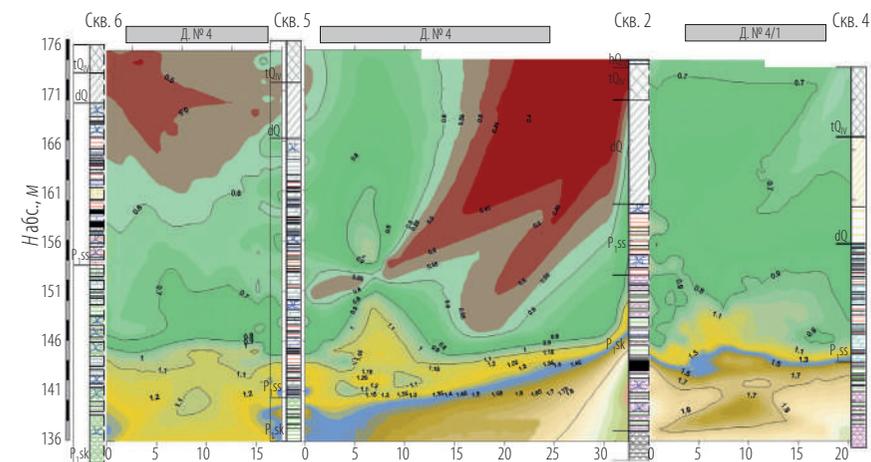


Рис. 5. Сейсмотомографический разрез по линии скв. 6 – скв. 2 – скв. 4

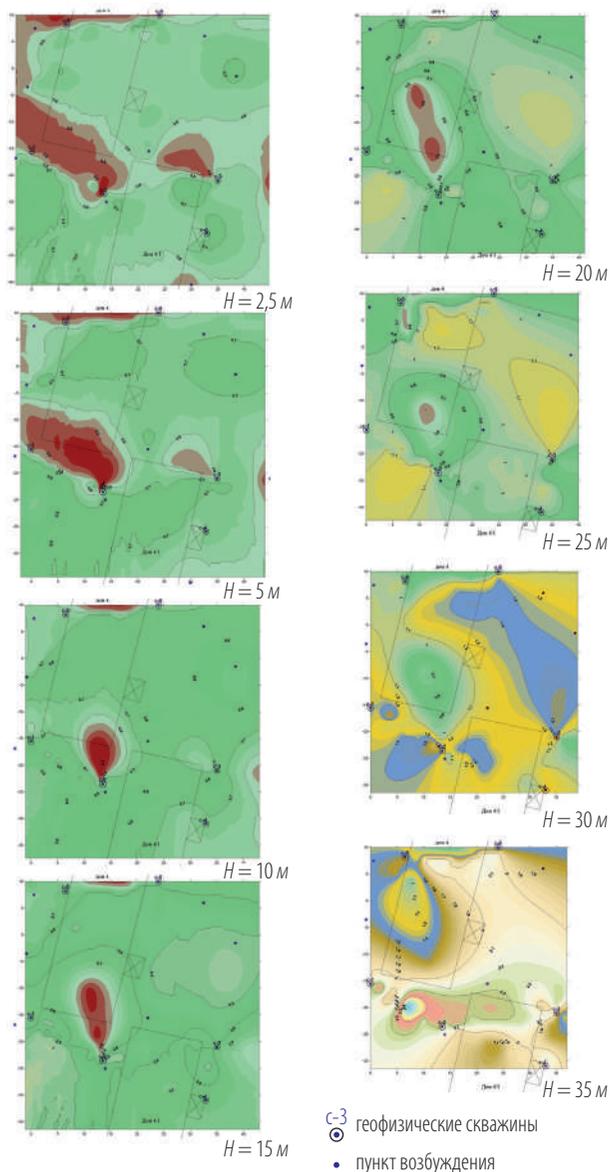


Рис. 6. Сейсмотомографические сечения

В целом результаты геофизических исследований свидетельствуют о развитии на участке аварийного дома и прилегающей территории карбонатного (в шешминских отложениях) и сульфатного карстов (соликамский и иренский горизонты).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болгаров А. Г., Поляков А. П., Болгарова О. С., Зайчикова Г. А. Технология геофизических исследований для решения инженерно-геологических задач // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2001. Вып. 82. С. 229–235.
2. Болгаров А. Г., Поляков А. П., Болгарова О. С. и др. Аппаратурно-методический комплекс для решения задач инженерной геологии на объектах промышленного и гражданского строительства // Скважинные геофизические технологии на рубеже веков. Управление по недрам РБ, ОАО НПП «ВНИИГИС». Уфа: Изд-во «Тау», 2000. С. 218–230.
3. Болгаров А. Г., Рослов Ю. В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач // Технология сейсморазведки. 2009. № 1. С. 105–112.
4. Горяинов Н. Н., Ляховицкий Ф. М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979.
5. Савич А. И., Яценко З. Г. Исследования упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. М.: Недра, 1979.
6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (Петрофизика) // Под ред. Н. Б. Дортман. М.: Недра, 1984.

Рецензент доктор геол.-минер. наук, проф. Ю. И. Кузнецов