

Структурно-геодинамическое картирование в комплексе инженерно-геологических изысканий

Е. И. СЕЛЮКОВ,
начальник изыскательского отдела, почетный строитель России,
канд. геол.-минерал. наук

Л. Т. СТИГНЕВА,
главный геофизик

Опыт изучения геологической среды различными методами детальных геодинамических исследований, в том числе методом структурно-геодинамического картирования (СГДК), позволил установить ее новое свойство — микрогеодинамическое строение и связь с этим свойством большинства аварий и деформаций инженерных объектов. Повышение качества проектно-изыскательских работ на объектах гражданского и промышленного строительства и обеспечение надежности их эксплуатации невозможны без учета информации о строении и состоянии геологической среды, о ее микрогеодинамическом строении.

Применяемые в строительной отрасли приемы проектирования сооружений основаны на понятиях и математическом аппарате механики сплошной среды, т. е. практика проектирования пока не учитывает неравномерность и непостоянство механических напряжений (природных и техногенных) в горном массиве.

Эмпирическим путем установлено, что геологическая среда **дискретна** и, следовательно, в основе расчетов должна лежать механика дискретной среды. Это связано с тем, что поля напряжений распределяются неравномерно в объеме геологической среды вследствие ее дискретности и могут достигать в узких локальных зонах, называемых **геодинамическими**, критических значений и вызывать деформации инженерных объектов. Причем концентрацию напряжений в таких зонах периодически усиливают: приливные явления, вызванные солнечно-лунными процессами и неравномерностью вращения Земли; волновые процессы, генерируемые крупными разломами и складками; техногенные воздействия от взрывов, горных работ, вибраций оборудования.

Влияние напряжений на состояние грунтов доказано инструментальными наблюдениями. Геометрическим нивелированием в различных регионах страны установлено, что верхние горизонты грунтового массива до глубины 10–15 м испытывают возвратно-поступательные движения по трем пространственным осям. Амплитуда вертикальных движений земной поверхности в зависимости от плотности грунтов колеблется от 10 до 30 мм, а относительное смещение по горизонтали двух довольно близких точек земной поверхности достигает 70 мм. При этом максимальные подвижки наблюдаются в пределах геологических дискретностей (геодинамические зоны) — разрывных нарушений, складок, трещинных зон, карста. Как оказалось, главные нормальные напряжения в пределах этих структур могут меняться на 0,3 МПа в течение небольшого отрезка времени.

Совокупность геодинамических зон различного иерархического уровня образует **геодинамическую структуру горного массива**. По своему внешнему облику геодинамическая структура имеет решетчатое строение, в пределах геодинамических зон происходят сложнодифференцированные движения горного массива, в том числе и дневной поверхности. Ячей, образованные геодинамическими зонами, имеют размеры от 25–30 м до 1,5–2 км и более.

Геодинамическую структуру горного массива изучает комплекс геофизических методов, включающий в себя эманационную (торон-радоновую), газовую ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) и радиоволновую съемки.

Согласно законам тектонофизики горный массив повсеместно характеризуется полем напряжений. В районе геологических дискретно-

стей поле напряжений изменяется как в сторону повышения к общему полю напряжений, так и в сторону уменьшения. Покровные отложения, тесно связанные с коренным массивом, активно реагируют на малейшие изменения поля напряжений. Происходящая вследствие этих изменений деформация покровных отложений повышает их эманационную способность, радиоактивные газы-эманации выделяются из покровных отложений, из рассеянных в них радия и тория. Строгое соответствие характера эманационных аномалий режиму современных полей напряжений и позволило назвать их **геодинамическими**, а метод исследования — **структурно-геодинамическим картированием**. Совместно с эманационными полями в покровных отложениях над выходами тектонических нарушений или тектонически ослабленных зон проявляются аномалии газовых полей. Причина — диффузионные и конвективные потоки метануглекислых газов, поступающих из глубин коренных пород к дневной поверхности. В результате изменения геодинамического режима также меняются электрические характеристики горного массива, и на этом эффекте основана радиоволновая съемка.

Эманационную и газовую съемки проводят одновременно. На точках определения вакуумным способом из бурок глубиной 0,5–0,8 м насосом отбирают пробы грунтового воздуха, которые анализируют на содержание радона, торона на эманометре «Радон» и на содержание углекислого газа и метана с помощью шахтного интерферометра ШИ-11. Радиоволновая съемка состоит в измерении азимутальной анизотропии электромагнитного параметра H_z . Ее выполняют малобазовой индуктивной установкой (Ю. С. Рябоштан, Е. П. Тихтамиров).

Структурно-геодинамическое картирование успешно опробовали в 1974–1991 гг. на объектах Южного берега Крыма в комплексе инженерно-геологических изысканий для поиска тектонических нарушений и решения оползневых задач. С 1991 г. Фундаментпроект успешно применяет в России накопленный опыт на различных объектах жилищного,

культурно-спортивного, промышленного строительства.

В нефтегазовой отрасли структурно-геодинамическое картирование используют как на линейных протяженных объектах (газо- и нефтепроводы), так и на площадных, например существующих и проектируемых парках нефтеналивных резервуаров, подземных газохранилищах. На трассах газопроводов Россия — Турция (307–369 км, Краснодарский край), Уренгой — Новопсков (1844–1855 км, Башкирия) и нефтепровода Альметьевск — Самара-II (Башкирия), участках подводного перехода нефтепроводов Холмогоры — Клин, Сургут — Полоцк через р. Чусовую структурно-геодинамическое картирование выполняли с целью выявления геодинамических зон, вызывающих ускорение процесса коррозии в металле трубы, появление усталостных деформаций с последующими разрывами трубы в результате меняющегося во времени напряженно-деформированного состояния грунтов.

Эти зоны выделяли при пересечении трассами трубопроводов районов активных тектонических нарушений, карстоопасных и оползневых участков. На площадных объектах — линейная перекачивающая диспетчерская станция «Черкасы» (Уфа), резервуары для сырой нефти на морском терминале КТК-Р (Новороссийск), нефтяной терминал для хранения нефти в Де-Кастри (проект Сахалин-1) — структурно-геодинамическое картирование применяли для выявления зон активных тектонических нарушений, влияющих на устойчивость нефтяных резервуаров, ускорение процессов коррозии в условиях меняющегося во времени регионального геодинамического (тектонического, сейсмического), а также собственного техногенного (спуск, налив нефти в резервуары) режимов.

На площадках подземных газохранилищ структурно-геодинамическое картирование выполняют при мониторинговых исследованиях в процессе эксплуатации газохранилищ. На территориях подземных хранилищ газа — Северо-Ставропольском, Песчано-Уметском и Елшано-Курдюмском (Саратов), Пунгинском (Тюменская обл.) — по результатам проведенного структурно-геодинамического

картирования выявили активные структурные элементы массива, являющиеся потенциальными каналами перетоков газа с дальнейшим выходом его на поверхность. Проницаемость геодинамических зон изменяется в зависимости от меняющегося во времени регионального геодинамического и собственного техногенного (отбор и закачка газа в газохранилище) режимов.

На участках строительства объектов жилищного, культурного, спортивного назначения в Москве и Московской обл. структурно-геодинамическое картирование в комплексе с сейсморазведочными работами МОВ-ОГТ применяют для определения и прослеживания зон напряженно-деформированного состояния грунтов, зон разуплотнения грунтов, обусловленных геоморфологическими особенностями строения площадок строительства (овраги), карстовыми процессами и тектоническим строением коренных пород.

При строительстве Российского культурного центра и Дома музыки на Красных холмах структурно-геодинамическое картирование выявило геодинамическое строение массива, связанное со структурным понижением в кровле верхнекаменноугольных известняков, что обусловлено расположенным глубже активным тектоническим элементом. Еще на стадии бурения скважин активность тектонической структуры проявилась выходом метануглекислого газа из трех расположенных рядом скважин. Для проектируемых зданий предусмотрели фундаменты в виде плиты, нивелирующей негативное воздействие геодинамической зоны.

На участке проектируемого жилого комплекса (3-я Черепковская ул., 15), по данным структурно-геодинамического картирования в районе домов повышенной этажности (50–70 этажей), выявлена активная структурная граница, проходящая от глубинного широтного разлома в протерозойском фундаменте через осадочный чехол к поверхности. Граница прослеживается в виде эрозийной ложбины в кровле меловых отложений и оврага в рельефе дневной поверхности до площадки.

При проектировании жилого комплекса «Истринский» (Красногорск,

Московская обл.), по результатам структурно-геодинамического картирования, дополненного сейсморазведочными работами, установлено, что существующие в дневном рельефе овраги субмеридионального простирания расположены по активным в настоящее время тектоническим структурам. По данным сейсморазведочных работ, тектонические структуры — зоны интенсивной трещиноватости, а по данным эманационной, газовой, радиоволновой съемки — зоны напряженно-деформированного состояния грунтов. Было рекомендовано сместить проектируемые комплексы в однородные блоки.

Влияние геодинамических зон на устойчивость зданий и сооружений доказано геодезическими наблюдениями на ряде объектов в различных регионах (Южный берег Крыма, г. Донецк, Тольятти). Особенно опасно нахождение проектируемых объектов на границах геодинамических блоков и зон. Чтобы исключить влияние выявленных геодинамических границ, рекомендуется переместить проектируемые здания на однородные блоки. В случае невозможности их переноса следует применять деформационные швы в районе геодинамических границ или запроектировать основание в виде плиты с дополнительным армированием в районе геодинамической зоны.

Выполняемые в Москве и Московской обл. в общем комплексе инженерно-геологических изысканий радиационно-экологические исследования показали, что в геодинамических зонах, фиксируемых структурно-геодинамическим картированием, в результате меняющегося во времени геодинамического режима плотность потока радона из грунта может как усиливаться, так и уменьшаться. Поэтому для правильной оценки радоноопасности территории необходимо учитывать структурные особенности строения участков, особенно при проектировании детских садов, школ, больниц. Во избежание пропуска значений плотности потока радона, превышающих норматив, на таких объектах необходимо проводить режимные наблюдения в периоды максимальной геодинамической активности грунтового массива. ■