

Уточнение категории карстовой опасности участков строительства Московской агломерации методами инженерной сейсморазведки

- Романов В.В., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина к.т.н., г. Москва.
- Кауркин М.Д., Андреев Д.О., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.
- Судоплатова А.А., РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва.

Аннотация: В работе приводятся аспекты применения методов инженерной сейсморазведки при оценке категории карстовой опасности Московской агломерации. В основе предложения лежит комплексный подход, совмещающий применение многоволновой сейсморазведки в наземном, скважинном и межскважинном вариантах.

Ключевые слова: карст, суффозия, сейсмические методы исследования.

Введение

Московская агломерация (Москва, ТиНАО (Новая Москва) и Московская область) - регион, имеющий государственное и стратегическое значение. В последнее время здесь ведётся интенсивная градостроительная деятельность, затрагивающая уже застроенные территории и районы выявленными проявлениями карстового процесса. Карстовые полости в Московской агломерации наблюдались в известняках (реже доломитах) касимовского и московского ярусов при обследовании бывших каменоломен, а в XX веке — в процессе строительства метрополитена. Карстующиеся породы в Московском регионе перекрыты нерастворимыми грунтами юрского, мелового и четвертичного возраста, что классифицируется как карбонатный покрытый карст. Роль водонепроницаемого горизонта, препятствующего вертикальной фильтрации атмосферных осадков к карстующимся породам, в Московской агломерации играют оксфорд-келловейские юрские глины [1].

В конце 1960-ых годов на северо-западе столицы, в районе Хорошёвского шоссе, возникло несколько провалов и оседаний диаметром 2–40 м и глубиной до 8 м, что привело к разрушению четырёх зданий. Причиной активизации древнего карста стало понижение уровня подземных вод при откачке водозабо-

ром «Октябрьское поле». Всего в регионе выявлено 42 карстово-суффозионных воронки (КСВ), проблема остаётся актуальной, особенно с учётом реализуемой и планируемой застройки Новой Москвы.

Согласно СП 22.13330.2016 категория опасности древних карстовых форм устанавливается по наличию поверхностных карстовых деформаций, интенсивности подземных проявлений карстового процесса, толщине водоупора в покрывающей толще и градиенту вертикальной фильтрации. Выделяются опасные, потенциально опасные и неопасные участки строительства. Проблема определения категории опасности затрудняется тем, что выделение малых скрытых полостей на основании прямого признака (провал бурового инструмента), предельно затратно и чревато риском повторной активизации карстового процесса из-за нарушения сплошности регионального водоупора.

В пределах опасных и потенциально опасных районов на каждой строительной площадке производится глубокое бурение с глубиной забоя 80–120 м и со вскрытием карбонатных пород на 5–10 м, а также геофизические исследования. Согласно СП 47.13330.2016 и СП 22.13330.2016 при проектировании сооружений на участках опасной и потенциально опасной категории. расчётная



▲ Рис. 1. Элювий известняка перхуровской свиты (касимовский ярус), представленный щебнем, дресвой и глинистым заполнителем.

ширина карстовой полости определяется по данным бурения и геофизических исследований. Материалы инженерно-геологических изысканий здесь должны содержать результаты геофизических исследований, они выполняются по всей площади изысканий.

При определении категории карстовой опасности геофизические методы применяются для решения следующих задач:

- определение рельефа и состояния кровли карстующихся скальных грунтов;
- нахождение мощностей отдельных слоёв покрывающей толщи и её общей мощности;
- поиска и определение элементов залегания локальных неоднородностей - полостей, зон трещиноватости и разуплотнения (Рис. 1), погребённых останцов и переуглублений в скальном основании.

В качестве основных геофизических методов на карст СП 446.1325800.2019 устанавливает методы электроразведки (вертикальное электрическое зондирование, электротомография, дипольное электрическое зондирование, частотное зондирование, зондирование становле-

нием поля, георадиолокационное зондирование) и сейсморазведки (метод преломлённых волн, метод отражённых волн, метод поверхностных волн, вертикальное сейсмическое профилирование, межскважинное сейсмическое просвечивание). Однако в пределах Московской агломерации применение электрических методов затруднительно из-за проблем с заземлением, высокого уровня электромагнитных помех, наличия блуждающих токов и хорошо проводящих техногенных образований, малой глубинности и невысокой разрешающей способности [2]. Применение же наземных и скважинных сейсмических методов позволяет успешно и оперативно решать все задачи, связанные с установлением категории карстовой опасности, однако методология их комплексного использования требует разработки общей теоретико-экспериментальной базы проведения полевых работ, а также дальнейшей обработки и интерпретации данных.

Предлагаемый комплекс методов

Все методы инженерной сейсморазведки имеют преимущества и слабые



▲ Рис. 2. Выполнение наземной сейсморазведки в зимний период (Москва).

стороны, поэтому их применение оправдано только в комплексе. Метод преломлённых волн и сейсмотомография позволяют оценить пластовые скорости как в покрывающей толще, так в первом

сверху слое каменноугольных карбонатных пород. Результативность и разрешающая способность обоих методов ограничена требованием нормальности скоростного разреза и достаточно большой мощности слоёв покрывающей толщи[3]. Малая разрешающая способность метода по латерали означает, что большинство скрытых полостей будет пропущено. Преломленные и рефрактированные волны, прослеживаемые в первых вступлениях, не обеспечивают выделение инверсных слоев, что не позволяет, в том числе, реализовать МПВ и СТ в холодное время года (ноябрь-март) и на жёстком дорожном покрытии (весь год) (Рис. 2).

В поверхностно-экранирующих разрезах эффективен метод отражённых волн в модификации общей средней точки. Внедрение МОВ в практику инженерно-геофизических исследований стало возможным из-за особенностей поля поперечных горизонтально-поляризованных волн[4]. При касательном воздействии источника перпендикулярно профилю в поверхностно-экранирующих разрезах, не образуются поверхностные волны. Эта особенность была отмечена ещё в середине 50-ых годов, но практическое применение эффект получил в 80-90ых годах XX века.

Метод отражённых волн востребован при работе в крупных населённых пунктах. Высокий уровень промышленного шума здесь снижается при вертикальном суммировании реализаций полевых сейсмограмм и горизонтальном суммировании трасс с общей средней точкой. Даже небольшая мощность приповерхностного высокоскоростного слоя (ПВС) позволяет получать сейсмограммы без волн Лява, однако значительная его толщина вызывает серьезные затрудне-

ния при последующей обработке за счёт большего различия скоростей суммирования и средних скоростей, применяемых для расчета глубинных разрезов. Это различие устраняется путём негиперболического скоростного анализа на основе построения кривых нарастания эффективной скорости и учета квазиизотропии предельной эффективной скорости [5]. Более значимыми недостатками МОВ являются — невозможность определить скорость в скальном основании разреза, небольшое число отражающих границ, уменьшение разрешающей способности с глубиной. Проблемы метода отражённых волн успешно решаются вертикальным сейсмическим профилированием [6], но в скважинном варианте сейсморазведка позволяет изучать только околоскважинное пространство [7]. Для детального исследования пространства между скважинами применяется межскважинное просвечивание (МСП), метод эффективен при выделении малых полостей на значительной глубине. Возможности МСП раскрываются при работах с большой ожидаемой глубиной в условиях ограниченного пространства, с его помощью можно также выделять слои в скальном основании, что актуально для Московской агломерации, где карбонатные слои часто чередуются со слоями элювия известняка и глин.

Выводы

Для Московской агломерации, таким образом, рациональным решением проблемы определения категории опасности является комплекс методов сейсморазведки. В первую очередь, в тёплое время года и на открытом грунте, проводятся работы методом сейсмотомографии на продольных и поперечных волнах. По

данным многоволнового СТ выделяются вторичные признаки развития карстового процесса — суффозионные отрицательные формы в границах покрывающей толщи, колебания уровня грунтовых вод, а при малой глубине залегания — прослеживается кровля карбонатов. На жёстком дорожном покрытии и (или) в холодное время года методика адаптируется под требования МОВ-ОСТ, с его помощью прослеживается кровля карбонатных пород, обнаруживаются зоны разуплотнения и повышенной трещиноватости, выделяются карстовые полости достаточно большого диаметра. Для уточнения скоростного закона, определения физикомеханических свойств грунтов и подтверждения природы волн, выделяемых наземной сейсморазведкой, по более редкой сети ставятся работы методом ВСП. И наконец, аномалии, выделенные МОВ и СТ заверяются МСП, как наиболее затратным и трудоёмким, но при этом высокоразрешающим методом.

Литература

1. Романов В.В. Опыт прослеживания отражающих границ на территории Московского региона // Приборы и системы разведочной геофизики. 2023. № 4 (79). С. 62-69.
2. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д. Комплексирование электротомографии, георадиолокации и сейсморазведки при исследованиях проявлений сульфатного карста на примере нижегородской области // В книге: Электроразведка 2021. сборник тезисов научно-практической конференции. Москва, 2021. С. 64-68.
3. Романов В.В., Иванов А.А., Широбов М.П. Опыт применения модификации МПВ-ОГП для решения задач инже-

нерной геологии // В сборнике: Геосочи-2022. Тематическая сессия: "Современное состояние и перспективы развития инженерной геофизики". Материалы международной научно-практической конференции. Тверь, 2022. С. 93-98.

4. Романов В.В., Сергеев К.С., Рыжков В.И. Оценка влияния структуры инверсного скоростного разреза на структуру волнового сейсмического поля // в книге: Инженерная и рудная геофизика 2021. Материалы 17-й научно-практической конференции и выставки. Москва, 2021. С. 81.

5. Романов В.В., Иванов А.А., Калинина М.С., Посеренин А.И. Учет влияния неоднородности покрывающей толщи при картировании кровли скальных карбонатных грунтов на примере г. Москвы // В книге: Инженерная сейсморазведка и сейсмология - 2019. Сборник тезисов 2-й научно-практической конференции. Под редакцией М.Р. Садуртдинова, М.С. Судаковой. 2019. С. 78-82.

6. Романов В.В., Иванов А.А., Шматкова А.А. Опыт применения инженерной сейсморазведки МОВОГТ для оценки карстово-суффозионной опасности на территории Москвы и Московской области // В книге: Инженерная сейсморазведка-2018. Сборник тезисов научно-практической конференции. Под редакцией М.Р. Садуртдинова, М.С. Судаковой. 2018. С. 20-24.

7. Романов В.В., Шнеерсон М.Б. Инженерная сейсморазведка методом отражённых волн в Москве // Геофизика. 2018. № 6. С. 75-81.

Подробнее об авторах



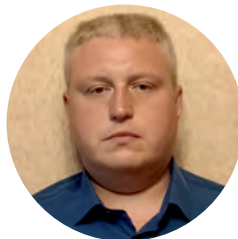
Романов
Виктор Валерьевич

Доцент, к.т.н., Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина
к.т.н., г. Москва



Кауркин
Михаил Дмитриевич

Доцент, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования, Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва



Андреев
Дмитрий Олегович

Ведущий инженер лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования, Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва



Судоплатова
Анна Андреевна

Старший преподаватель, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва