

УДК 550.8:551.435.8

В.В. Набатов, П.А. Морозов

ОЦЕНКА КАРСТОВО-СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРОВ С РЕЗИСТИВНО-НАГРУЖЕННЫМИ АНТЕННАМИ

Рассмотрен опыт георадиолокационного обследования геомассива для оценки карстово-суффозионной опасности. При выполнении работ предпочтение отдано сверхмощным георадарам с резистивно-нагруженными антеннами. Приведены примеры результатов, полученных на низкочастотном сверхмощном георадаре «Лоза-1Н». Для городских (в том числе сложенных глинами грунтов) диапазон предельных глубин составил 13 ÷ 30 м.

Ключевые слова: карстово-суффозионные процессы, георадиолокация, низкочастотные георадары, сверхмощные георадары, низкий уровень «звонящих» шумов, высокая глубинность.

Оценка карстово-суффозионной опасности является важной задачей при строительстве в мегаполисах и в частности на территории Москвы и области. Процессы растворения известняковых массивов образуют карстовые полости (карстообразование), в которые происходит сдвигание вышележащих пород (суффозия). Если карст не развивается, он опасен тем, что геомассив в его пределах имеет ослабленную несущую способность, на которую не рассчитывают проектировщики. Если карст развивается, то сдвигания пород могут достичь поверхности и вызвать нарушения в зданиях. Развитие карстов может происходить по различным причинам: разгрузка грунтовых вод вблизи рек; отбор воды из скважин, приводящий к изменению уровней грунтовых вод; переток вод между горизонтами по необсаженным скважинам; попадание в геосреду техногенных, химически активных вод и пр.

Оценка карстово-суффозионной опасности обычно ведётся по результатам бурения, результаты которого

могут быть устаревшими, проведёнными со слишком большим шагом или со слишком большим сношением скважин. Поэтому они дополняются геофизическими обследованиями – традиционным решением здесь являются сейсморазведочные изыскания. Основным недостатком сейсмики является низкая разрешающая способность. Вертикальная разрешающая способность в основном связана с большими длинами волн возбуждаемых сигналов. Горизонтальная, помимо длины волны (из-за размеров 1-й зоны Френеля), также определяется шагом между сейсмодатчиками и пунктами возбуждения. Сокращение этого шага приводит к слишком трудоёмкой полевой и камеральной работе, поэтому для условий города значения находятся в пределах 1 ÷ 4 м. Поскольку работа ведётся в так называемой зоне малых скоростей (ЗМС), проблемой становится и то, что скоростной закон сильно варьирует как по глубине, так и вдоль по профилю (хотя при этом пониженные скорости повышают разрешающую

способность метода). Также мешает сейсмический шум города (дороги, метро, строительное оборудование). Всё это усложняет работу по обработке и снижает читаемость результатов.

Возможно всё больше входящие в практику новые технологии по многокомпонентной регистрации упругих волн с последующим разделением волновых пакетов *p*- и *s*-волн [1], а также технологии MASW позволят улучшить результаты сейсморазведки. Однако помимо прогресса в области сейсморазведки можно добиться некоторого улучшения качества работ за счёт создания комплексов методов. В частности комплексировать сейсморазведку, электроразведочную томографию (electrical resistivity tomography – ERT) и георадиолокационные изыскания. Вопросам оценки нарушенности массивов с помощью ERT была посвящена статья [2] и др. Эта статья посвящена вопросам возможностей георадиолокации при оценке карстово-суффозионной опасности.

С помощью георадиолокации можно повысить разрешённость получаемых данных. Шаг между пунктами приёма можно сократить до 10-30 см. Длины волн для частот порядка 50 МГц составляют 1 – 3 м (в зависимости от диэлектрической проницаемости). Хотя разрешающая способность с глубиной падает из-за увеличивающихся размеров 1-й зоны Френеля для сейсмики длины волн в ЗМС всё равно имеют большие значения и могут составлять 5-10 м. Также низкая трудоёмкость полевых работ позволяет при георадиолокационном обследовании снять гораздо больше параллельных профилей. При этом георадиолокация сама не лишена ряда проблем: в первую очередь это неоднородность городских массивов и малая глубинность. Касательно неоднородности среды в [3] даны методики

по смягчению влияния этой проблемы. Касательно низкой глубинности стоит сказать, что авторы публикаций указывают на неё достаточно часто [4, 5] (в [4]) по данным [6] дана оценка предельной глубины в 3-4 м). При этом при снижении частоты излучения данные оказываются всё более зашумлены собственным «звоном» антенны [7]. Выходом здесь может быть применение резистивной нагрузки антенн (так называемые антенны Ву-Кинга), для снижения зашумлённости низкочастотных измерений и использование сверхмощных передатчиков для повышения глубинности. Эти решения были реализованы в отечественном георадаре «Лоза-1Н» [8]. Описания опыта работ с этими георадарами можно найти в [9, 7].

С целью описания георадиолокационной оценки карстово-суффозионной опасности для начала стоит привести примеры ненарушенного массива. На рис. 1 представлены радарограммы («Лоза 1Н», 50 МГц) и соответствующие им геологические разрезы, построенные по результатам бурения. На радарограммы рис. 1, а, в нанесены отражающие границы, просматривающиеся как оси синфазности. Границы достаточно хорошо совпадают с геологической оценкой. Небольшое отклонение для результатов рис. 1, а, б можно объяснить несённостью скважин, при этом мощность слоя оценена достаточно точно. Для рис. 1, в, г интерпретированное радиоизображение достаточно близко к геологическому разрезу, построенному по скважинам: на радиоизображении просматривается погребённый склон и выклинивающийся пласт сапропелей. Оценка диэлектрической проницаемости среды произведена с помощью годографов, получаемых съёмкой с изменяющимся расстоянием между антеннами (так называемое георадиолокационное зондирование [10]).

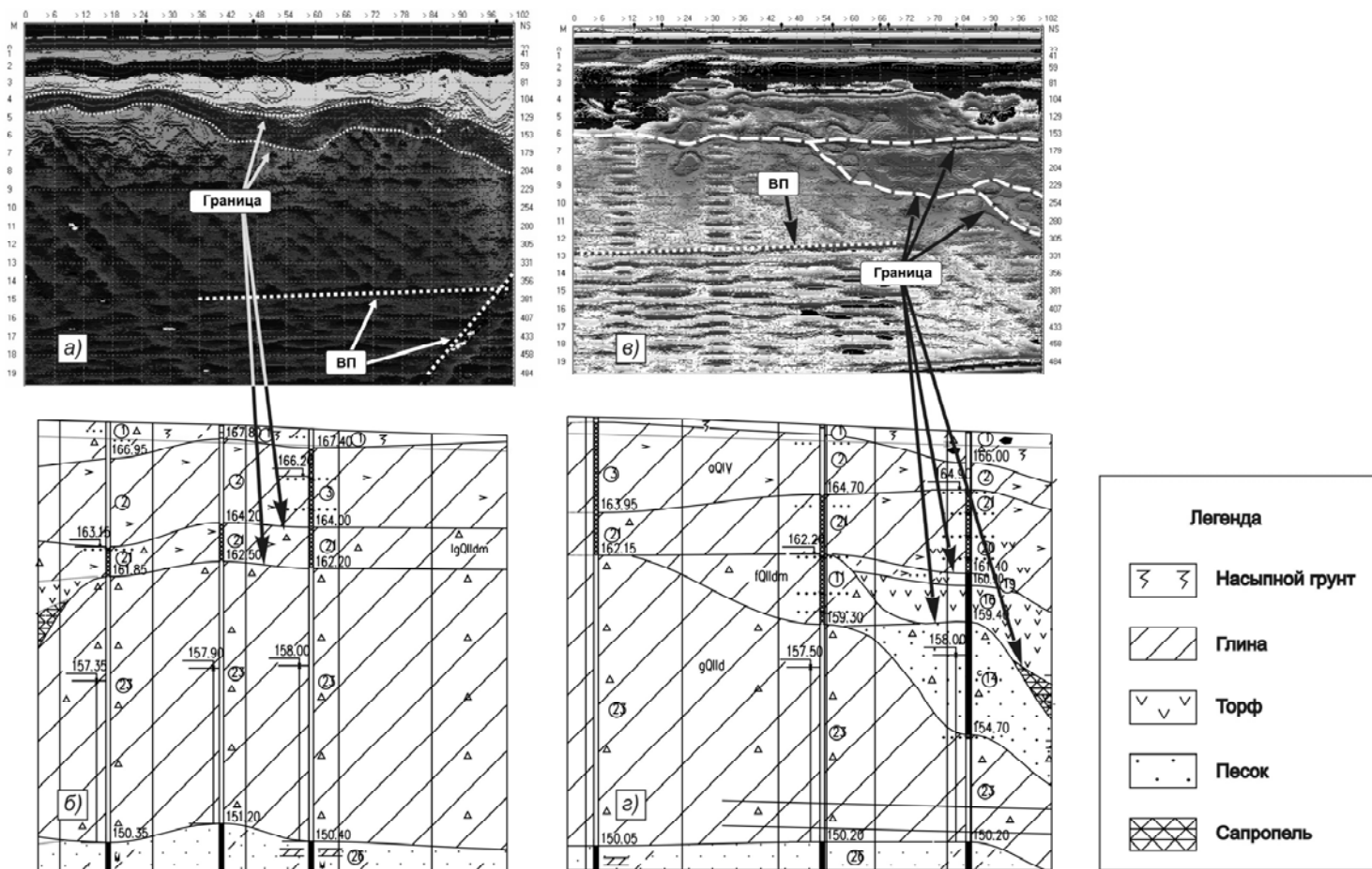


Рис. 1. Примеры ненарушенных массивов горных пород: а и б – радарограммы (левая ось - глубина, м; правая - время, нс); в и г – соответствующие им геологические разрезы; ВП – «воздушные» помехи. Георадар «Лоза-1Н» 25 МГц

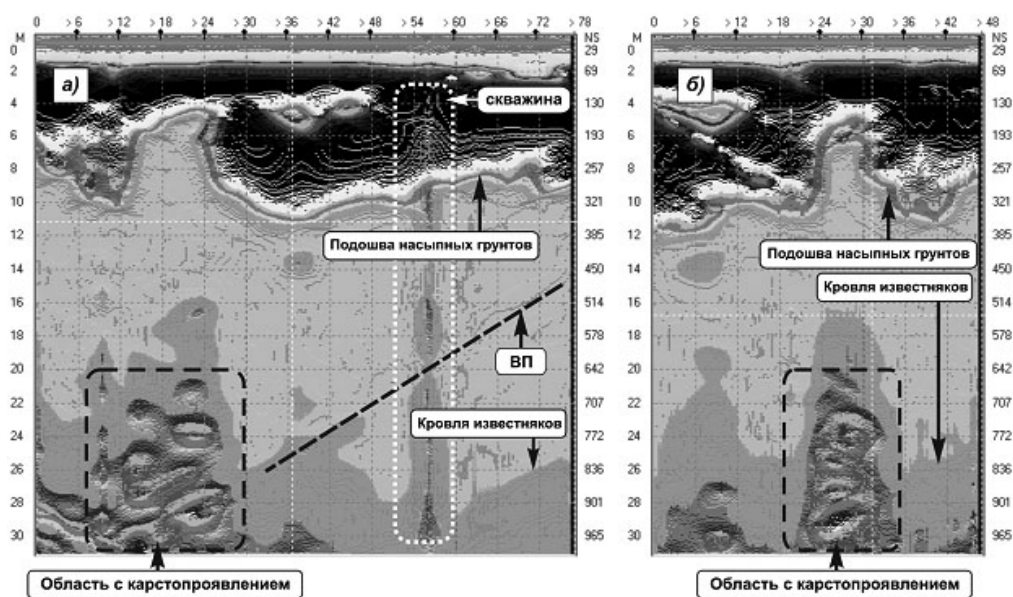


Рис. 2. Пример массива пород с выявленной закарстованностью: а и б – перпендикулярные профили; ВП – «воздушные помехи». Георадар «Лоза-1Н» 25 МГц. Левая ось – глубина, м; правая – время, нс

Эти две радарограммы иллюстрируют пример отсутствия областей разуплотнения. Границы на этих георадиолокационных разрезах не испытывают резких перепадов по глубине: рис. 1 а демонстрирует плоскопараллельное залегание, рис. 1 в демонстрирует пологий склон (при интерпретации необходимо учитывать что горизонтальный и вертикальный масштаб радарограмм обычно существенно различаются и в реальности склон гораздо более пологий, чем видно на радарограмме). Отражающие границы на радарограммах соответствуют геологическому разрезу. С другой стороны эти радарограммы показательны с точки зрения глубинности и зашумлённости. Традиционные (источник импульса – лавинный диод) георадары для условий мегаполисов дают значительно меньшие предельные глубины (часто это первые метры), здесь же максимальная

глубина – 13 м. Также традиционные низкочастотные георадары дают значительно более зашумлённую «звенящими» записями радарограмму [7], чем георадары с антеннами Ву-Кинга. Приведённые примеры в этом контексте интересны тем, что, во-первых, это грунты мегаполиса (г. Москва), во-вторых, оба массива сложены глинами (см. рис. 1, б и г) – такие массивы для георадаров являются сложной задачей. Радарограмма рис. 1 а не имеет отражающих границ ниже уровня 7 м, постольку поскольку их не содержит и геологический разрез (см. рис. 1, б).

В качестве примера нарушенного массива на рис. 2 даны радарограммы двух перпендикулярных профилей (а и б) из серии профилей полученных площадной съёмкой («Лоза 1Н», 25 МГц, амплитуда импульса – 15 кВ). С помощью георадара удалось отбить подошву насыпных грунтов и песков

(4 - 10 м) и кровлю известняковых толщ (22 - 28 м). Здесь стоит обратить внимание, что ось синфазности кровли известняков, испытывая перепады по глубине, тем не менее, образуют одну линию, просматривающуюся и при достаточно слабых значениях горизонтальной фильтрации. Максимальная глубина в этих исследованиях достигает 30 м, что для нарушенных грунтов мегаполисов является очень хорошим значением. Также форма границ достаточно точно соответствует геологическому разрезу (включая поднятие границы насыпных грунтов на участке 12-26 м профиля рис. 2, а и на участке 24-30 м профиля рис. 2 б). Глубина их заложения испытывает небольшую ошибку, которую можно отнести на счёт снесённости скважин.

В толще известняков просматривается область высокоамплитудных «звенящих» записей, которая интерпретирована как область карстопроявления. Аргументация здесь следующая. Область повторяется на перпендикулярном профиле (рис. 2 б), приурочена к известняковой толще. Исходя из анализа площадки, эти сигналы не могли быть получены за счёт «воздушных» помех (нет отражающих объектов на ожидаемом расстоянии) или влияния поверхности на результаты съёмки (в этом случае «звон» не был бы локализован на глубине). При обработке не применялась коррекция затухания, поэтому здесь трудно предположить, что это шум, подчеркнутый усилением. Неровность рельефа вышележащих пород, просматривающаяся при анализе всех снятых профилей так же позволяет выдвинуть предположение о наличии здесь карста. Здесь стоит сказать, что в отличие от сейсморазведки, в которой мож-

но получить оценки скоростей упругих волн, которые связаны со значениями упругих модулей пород, георадиолокация даёт только оценку геометрии отражающих границ. А поэтому либо приходится оставаться в рамках наиболее аргументированных предположений, либо работать комплексом методов «сейсморазведка – георадиолокация». Полностью заменить сейсморазведку георадиолокация вряд ли сможет, по причине сложности решения, что именно видит интерпретатор. На описываемой площадке был проведён как раз комплекс исследований – сейсморазведка также дала возможность предполагать в этой части обследуемой площади карстоопасную область.

На этой площадке был получен еще один аргумент в пользу того, что видна именно область карстопроявления. В тех местах, где профиль проходил по скважине, можно было при определённой обработке заметить конусообразные структуры на радарограммах (см. рис. 3, а – в этой обработке определённый диапазон уровней амплитуд закрашивается конкретным контрастным цветом – в данном случае белым). Привязка скважин на рис. 3, а отмечена штрихпунктирными линиями. Эти конусообразные структуры так же образуют непрерывные оси синфазности (на этот раз субвертикального характера), достигающие глубин 25 м.

Описываемые структуры были интерпретированы как границы депрессивных воронок, вызванных перетоками вод между горизонтами. Подразумевается, что распределение влаги в массиве создаёт отражающие границы. Здесь рис. 3, а дан, чтобы показать воронки в отдалении от карстопроявления (т.е. как

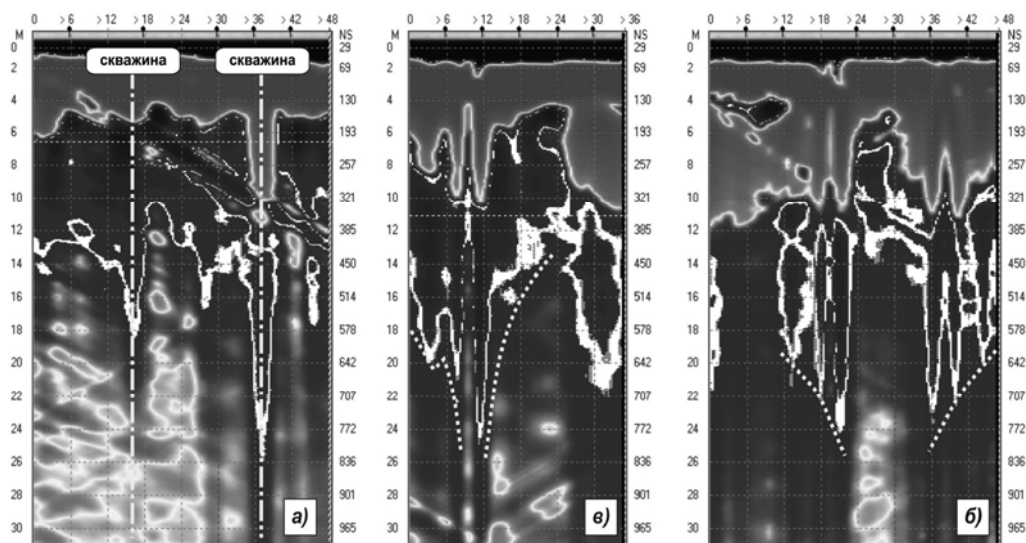


Рис. 3. Влияние скважин и закарстованной области на распределение воды в массиве. Георадар «Лоза-1Н» 25 МГц. Левая ось - глубина, м; правая - время, нс. Пояснения см. в тексте

образовавшиеся только за счёт скважин) – они просматриваются в результатах достаточно часто. А рис. 3, б и в, представляют собой радарограммы, снятые вблизи карстопроявления и являются просто другой обработкой радарограмм рис. 2 а и б (радарограмма рис. 3, б обрезана). Видно, что здесь «воронки» становятся более широкими и

явно выраженными – видимо, переток вод здесь связан с нарушенностью геомассива и процессами суффозии.

Таким образом, сверхмощные георадары с резистивно-нагруженными антеннами позволяют достигать значительно больших глубин чем традиционные, даже в условиях нарушенных грунтов мегаполисов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранит Б.А., Гиодман А.Г. Об эффективности комплексного использования геофизических наблюдений на продольных и поперечных волнах при инженерно-геофизических исследованиях в московском регионе // Разведка и охрана недр. 2010. № 12. С. 66-69.
2. Гайсин Р.М., Набатов В.В., Дудченко Т.О. Опыт электротомографического исследования геомассива в зоне расположения коллекторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, №10. С. 118-121.
3. Набатов В.В., Морозов П.А., Семенович А.Н. Выявление подземных коммуникаций на площадке строительства с помощью георадаров с резистивно-нагруженными антеннами // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012, №10. С. 120-134.
4. Ерохин С.А., Модин И.Н., Новиков В.П., Павлова А.М. Возможности электрической томографии при изучении карстово-суффозионных воронок // Инженерные изыскания. 2011, №11. С. 16-22.

5. Демьянов В.В., Простов С.М., Хмяляйнен В.А., Щербаков И.В. Компьютерное моделирование напряженного состояния уступов бортов карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006, №7. С. 141-157.

6. Kruse S., Grasmueck M., Weiss M., Viggiano D. Sinkhole structure imaging in covered Karst terrain // Geophysical Research Letters. Volume 33, Issue 16, August 2006.

7. Набатов В.В., Гайсин Р.М., Гораньков И.И. Опыт георадиолокационного обследования массива для прогнозирования условий шитовой проходки коллекторов в условиях мегаполиса. Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2011, №8. С. 202-211.

8. Раздел сайта «Компания ВНИИСМИ» Георадары серии "Лоза" : [Электронный документ].

(<http://www.geo-radar.ru/articles/article4.php>). Проверено 22-01-2013.

9. Морозов П.А., Волков В.А., Копейкин В.В. Перспективы применения сверхмощных георадаров для исследования процессов карстообразования и оползней // Разведка и охрана недр. 2012. № 7. С. 47-51.

10. Копейкин В.В. Обратная задача георадиолокации : [Электронный документ]. (<http://www.geo-radar.ru/articles/article4.php>). Проверено 15-01-2013.

ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Набатов Владимир Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры ФТКП, ftkp@mail.ru

Морозов Павел Анатольевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора ООО «ВНИИСМИ».



ГОРНАЯ КНИГА



Машины и оборудование для горностроительных работ

Л.И. Кантович, Г.Ш. Хазанович, В.В. Волков, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков, В.Г. Черных
2013 г. — второе издание
445 с.

ISBN: 978-5-98672-261-0

UDK: 622.6:622.23/24

Изложены конструктивные схемы, область применения, основы расчета и эксплуатации машин и оборудования, используемых при сооружении горных выработок различного технологического назначения, а также при выполнении работ на промышленных площадках объектов шахтного и подземного строительства. Рассмотрены грузоподъемные машины, оборудование для бурения и зарядания шпуров и скважин, механизированный инструмент, погрузочные, буропогрузочные, погрузочно-транспортные и призабойные транспортные машины, проходческие комбайны, стволопроходческие и тоннелепроходческие комплексы, водоотливные и вентиляторные установки.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Шахтное и подземное строительство» направления подготовки «Горное дело». Может быть полезно при изучении средств механизации горно-строительных работ во время повышения квалификации инженеров-производственников.