

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В ЗОНЕ КРУПНОГО КАРСТОВОГО ПРОВАЛА И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОТИВОКАРСТОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

STUDY OF THE CONDITIONS OF FORMING A LARGE KARST SINKHOLE AND RECOMMENDATIONS ON KARST SURVEYS

УТКИН М.М.

Научный сотрудник ОАО «Противокарстовая и береговая защита», г. Дзержинск Нижегородской обл.,
mike5319@rambler.ru

ПРОТАСОВА М.А.

Ведущий инженер-геолог ОАО «Противокарстовая и береговая защита», г. Дзержинск Нижегородской обл.

ДАВЫДЬКО Р.Б.

Научный сотрудник ОАО «Противокарстовая и береговая защита», г. Дзержинск Нижегородской обл.

МАХНАТОВ С.А.

Инженер-проектировщик, ведущий специалист по инженерному карстоведению ОАО «НИИ ПТМ № 17», mstas999@mail.ru

UTKIN M.M.

Research associate of the «Antikarst and wateride protection» OJSC, Geotechnics and Foundation Engineering, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, mike5319@rambler.ru

PROTASOVA M.A.

Leading geological engineer of the «Antikarst and waterside protection» OJSC, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region

DAVIDKO R.B.

Research associate of the «Antikarst and waterside protection» OJSC, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region

MAKHNATOV S.A.

Designing engineer, leading engineering karstologist of the «НИИ ПТМ № 17» OJSC, mstas999@mail.ru

Ключевые слова:

карст; карстовый провал; инженерно-геологические изыскания; геофизические исследования; карстовый риск; противокарстовые мероприятия.

Key words:

karst; sinkhole; engineering geological survey; geophysical survey; karst risk; antikarst protection measures.

Аннотация

В статье рассматривается комплекс инженерно-геологических изысканий, проведенных в зоне крупного провала, произошедшего в рабочем поселке Бутурлино Нижегородской области. Обсуждается возможность применения геофизических исследований для оценки карстоопасности площадок. На основании результатов изысканий выполнена оценка карстоопасности участка, прилегающего к провалу, и определены карстово-провальные риски. Сформулированы практические рекомендации по хозяйственному освоению зоны расположения провала и всей территории р.п. Бутурлино.

Abstract

The paper discusses a complex of engineering-geological (karst) surveys in the zone of a large sinkhole in the Buturlino workers' settlement of the Nizhny Novgorod region. Possibility of using geophysical surveys for karst hazard assessment is also discussed. On the basis of the obtained data the karst hazards of the areas that are adjacent to the investigated karst sinkhole are assessed, the karst sinkhole risks are determined. Some practical recommendations on economic development of the sinkhole zone and the whole Buturlino workers' settlement territory are given.

Введение

В последнее время в Нижегородской области участилось образование крупных карстовых провалов¹ [1]. Очередной такой провал (рис. 1) произошел 10 апреля 2013 г. в час ночи на юго-восточном конце ул. Железнодорожная рабочего поселка Бутурлино. В момент его образования жителями был слышен шум и ощущались слабые подземные толчки, которые возникали вследствие обрушений горных пород.

Первоначальный диаметр провала (в момент его образования), по словам очевидца (хозяина дома № 26А), составлял около 15–20 м. За последующие 10–15 минут он увеличился до 40–50 м. Провал полностью поглотил деревянный жилой дом, который находился в его центре, а также разрушил дом № 26А и, частично, зерновой склад (см. рис. 1). Лишь по счастливой случайности обошлось без человеческих жертв.

Следует отметить, что в 77 м южнее образовавшегося провала проходит магистральная железная дорога Москва — Казань (участок ст. Арзамас-II — ст. Канаш,

¹ Существуют различные мнения о возможности применения термина «карстовый провал». Коллектив авторов использует его согласно нормативно-методической [4–7] и научной [1, 3, 9–12] литературе.



487 км, ПК 5). Поэтому он привлек внимание и железнодорожников.

Механизм образования данного провала достаточно сложен. Его выходу на земную поверхность предшествовало формирование системы сводов в карстующейся и покровной толще грунтов (о том, что карстовый провал произошел с большой глубины, позволяет судить, например, тот факт, что им был полностью поглощен тополь высотой 15 м). Детально этот механизм рассмотрен в работе [12] и был представлен на международной конференции «Комплексное использование и охрана подземных пространств» (г. Кунгур, 2014 г.).

Постановка задачи

Для хозяйственного освоения зоны расположения крупного карстового провала необходима разработка соответствующих практических (инженерных) рекомендаций. Для этого необходимо выполнить районирование участка провала по интенсивности провалообразования совместно с оценкой карстово-провальных рисков. При этом объективное районирование возможно выполнить только по результатам проведения соответствующего комплекса инженерных изысканий. Кроме того, необходима разработка инженерных рекомендаций по освоению территории р.п. Бутурлино.

Следует отметить, что во всех существующих в РФ нормативно-методических документах отсутствуют положения по назначению видов и объемов работ для решения рассматриваемых задач. Поэтому авторы публикации сочли целесообразным подробно изложить выполненный комплекс инженерных изысканий.

Инженерно-геологические изыскания и их результаты

Первоначально проводилась работа с фондовыми материалами — были выполнены сбор и анализ космоснимков, топографических карт и имевшихся скважин в районе образовавшегося провала. Затем для оценки карстоопасности территории и объектов, рас-

положенных в зоне провала, был выполнен комплекс инженерно-геологических изысканий.

Рекогносцировочное обследование

На первом этапе авторами была выполнена визуальная полевая рекогносцировка рассматриваемого участка на следующий день после образования провала. В момент обследования бровки его были четкие, крутизна склонов составляла 90° . В дальнейшем наблюдалось фрагментарное отседание² и обрушение его бортов. Вокруг провала на расстоянии до 5–6 м были зафиксированы трещины в грунте.

На втором этапе в результате проведения детальной полевой рекогносцировки в непосредственной близости от образовавшегося провала и на прилегающей к нему территории было выявлено (подтверждено) множество поверхностных карстопроявлений: котловина неправильной формы с берегами фестончатого типа (местное название — «Прорва»); большие и малые карстовые озера (воронки, заполненные водой) в основном округлой (диаметром до 50 м), а также овальной и неправильной (в результате слияния воронок) формы; не заполненные водой воронки; понижения; просадки.

Наблюдение за реперами

Для определения динамики развития провала во времени на первом этапе рекогносцировки в зонах его бровок было установлено шесть реперов (РП-1–РП-6, рис. 2), которые впоследствии были нанесены геодезистами на топографический план рассматриваемого участка. По результатам геодезической съемки, выполненной 3 мая 2013 г., размер провала составил 60×62 м, то есть за 23 дня его диаметр увеличился примерно на 12 м. По результатам рекогносцировки, проведенной 24 апреля 2014 г., было установлено, что диаметр провала увеличился еще на 1,5 м.

² В рассматриваемой работе под отседанием бортов провала следует понимать блоковое отделение пород от бортов провала, проходящее по трещинам, которые образовались после выхода провала на земную поверхность.



Рис. 1. Карстовый провал в р.п. Бутурлино Нижегородской области (апрель 2013 г.)

Статическое зондирование

Данный вид изысканий выполнялся для анализа плотности сложения и предварительного изучения литологического состава покровной толщи грунтов, а также для назначения (уточнения) мест бурения инженерно-геологических скважин. В зоне расположения рассматриваемого провала и прилегающих к ней домов, а также в зоне железной дороги было выполнено статическое зондирование в 27 точках до глубины 22,1 м. Для более объективной интерпретации полученных данных также была пробурена скважина глубиной 19 м.

По результатам данного вида изысканий в аллювиальных отложениях было выделено множество линз рыхлых песков (на рис. 3, 4 показаны оранжевым цветом), мощность которых вблизи бровок провала достигала 4,2 м. Кроме того, была выявлена погребенная карстовая воронка, расположенная в зоне точки статического зондирования № 5 (ТСЗ 5, см. рис. 4).

Бурение инженерно-геологических скважин

Бурение глубоких инженерно-геологических скважин выполнялось с целью изучения подземной закар-

стованности грунтов, уточнения литологического состава покровной и карстующейся толщ и для определения гидрогеологических условий рассматриваемой территории. Всего было пробурено 5 скважин глубиной от 31,5 до 101,5 м.

Рассмотрим геологическое строение территории, примыкающей к рассматриваемому провалу.

Четвертичная система представлена делювиально-солифлюкционными отложениями и аллювиальными отложениями второй надпойменной террасы р. Пьяны. Первые из них представляют собой макропористые суглинки со столбчатой отдельностью от твердой до мягкопластичной консистенции. Их мощность составляет 4,4–6,4 м. В стенках провала эти грунты обнажаются на полную мощность. Аллювиальные отложения от подошвы суглинков и до глубины 6–7 м представляют собой пески мелкие, ниже — пески средней крупности с включениями дресвы и щебня карбонатных пород (до 5%). Начиная с глубины 9–11 м залегают пески средней крупности и крупные с прослоями и линзами суглинков мощностью от 0,1 до 0,7 м, а также с включениями дресвы и щебня карбонатных пород (до 20%).

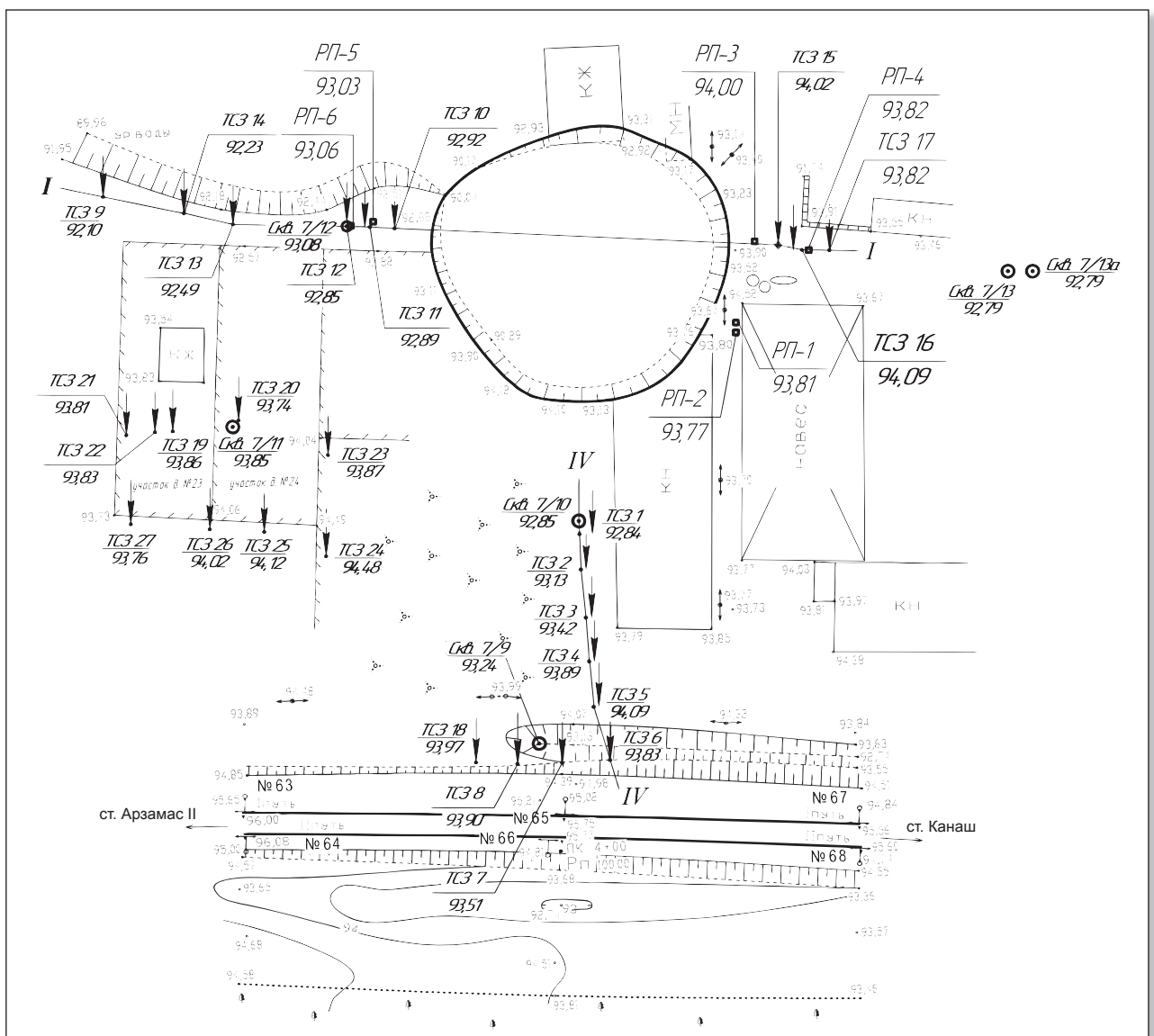


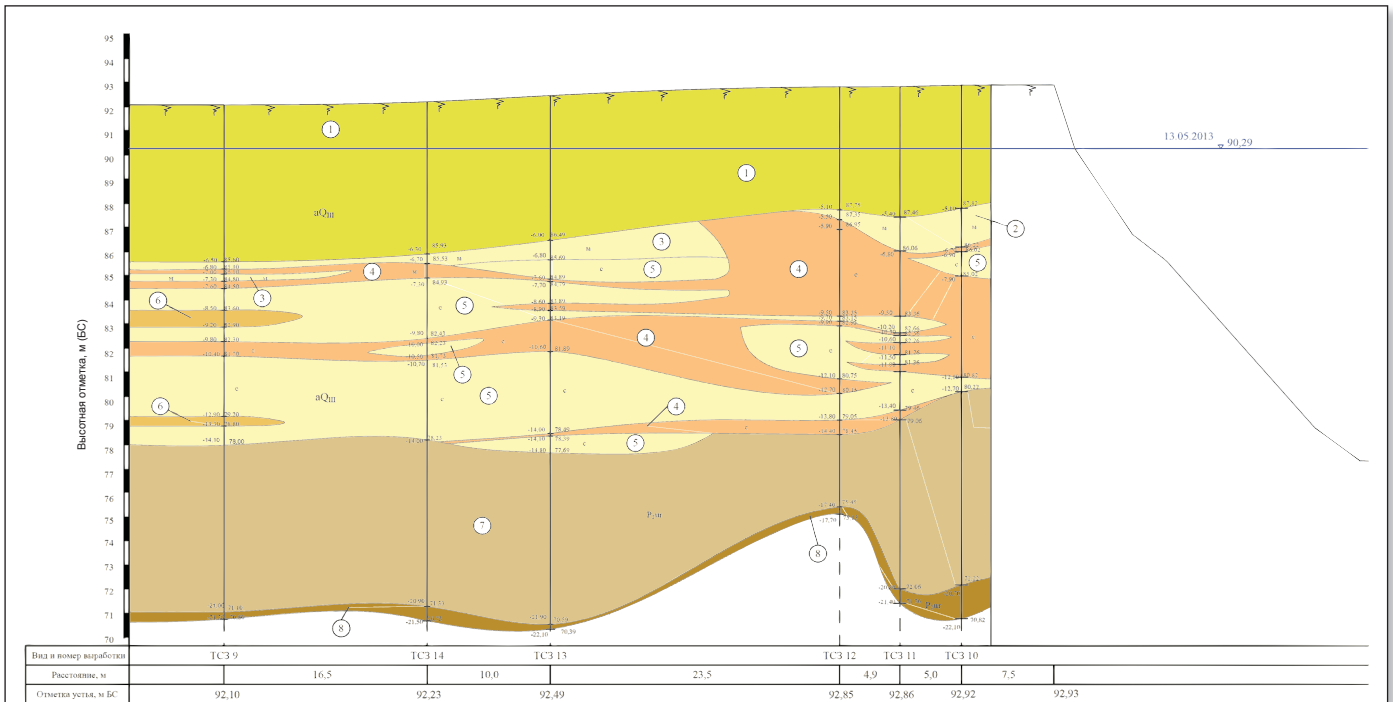
Рис. 2. Карта фактического материала (ПП — репер; Сква. — инженерно-геологическая скважина; ТСЗ — точка статического зондирования; I–I — линия инженерно-геологического разреза)



Пермская система представлена средним и нижним отделами. Средний сложен уржумским и казанским ярусами, нижний — сакмарским.

По результатам бурения и статического зондирования отложения уржумского яруса залегают на глубине 14,0–15,5 м и разделены на два слоя, имеющие разные физико-механические характеристики. Первый представляет собой элювий уржумских отложений. Он сложен слабыми глинами с прослоями алевритов,

алевролитов и песков. Местами грунты находятся в нарушенном залегании (перемяты). Мощность слоя изменяется от 0 м (в ТСЗ 1 и скв. 7/10 — в месте, где он полностью срезан эрозионной деятельностью р. Пьяны) до 8,8 м. Второй слой представлен красновато-коричневыми плотными твердыми глинами с прослоями и гнездами алеврита, аргиллита и тонкими прослоями песчаника, в подошве — с дрсевой и щебнем известняка. Грунты находятся в первичном зале-



Условные обозначения

Аллювиальные отложения

- м песок мелкий рыхлый
- м песок мелкий средней плотности
- с песок средней крупности рыхлый
- с песок средней крупности средней плотности
- суглинок лессовый от полутвердого до мягкопластичного
- суглинок мягкопластичный с прослоями супесей и песков
- гумусированные отложения

Отложения уржумского яруса средней перми

- глины элювированные с прослоями алевролитов, алевритов и песков
- глины с прослоями алевролитов, алевритов и аргиллитов



номер инженерно-геологического элемента

ТСЗ

точка статического зондирования

-6,5 | 85,60

выработка в ТСЗ (справа – выс. отметка над ур. моря в Балтийской системе, м; слева – выс. отметка от поверхности грунта, м)

13.05.2013 V 90.29

установившийся уровень воды (дата и уровень, м)

Рис. 3. Фрагмент инженерно-геологического разреза по линии I–I

гании. Мощность слоя колеблется от 5,3 до 13,3 м. На участке погребенной карстовой воронки (ТСЗ 5, см. рис. 4) данный слой опущен на 3,7–4,4 м.

В скважинах, расположенных примерно в 60 м к востоку от провала, встречены полости. В скважине 7/13а зафиксированы небольшие этажно расположенные полости высотой 0,05–0,10 м, заполненные водой. Мощность данного интервала составила 3,6 м. Ниже указанного интервала встречена полость высотой 0,4 м, заполненная перемычками глинистыми породами и мелкой кварцевой галькой. В скважине 7/13 зафиксированы две полости — высотой 0,3 и 0,1 м. Первая заполнена перемычками глинистыми породами с обломками мергеля, вторая — водой. Следует отметить, что наличие полостей в уржумских отложениях, как правило, нехарактерно для данного региона. Это обстоятельство свидетельствует о существенной закарстованности исследуемого участка.

Вышеупомянутые скважины отстоят друг от друга всего на 5 м, а мощность уржумских отложений в них различается на 2,5 м, отметки их поверхности — на 1,8 м. Кроме того, в грунте отмечена нарушенная слоистость с прерывистыми и изогнутыми слойками, местами направленными под углом 45° к оси керна. На основании этого авторами сделан вывод, что рассматриваемые породы в районе скважин 7/13 и 7/13а испытывали подвижки и обрушения в полости, за счет чего и произошло изменение их облика и условий залегания.

Суммарная мощность уржумских отложений на исследуемой территории составляет 8,8–14,8 м.

Образования уржумского яруса средней перми залегают трансгрессивно на сильно размывтой и закарстованной поверхности казанских отложений.

Карстующиеся отложения *казанского яруса* развиты повсеместно и вскрыты на глубине 24,3–28,8 м. Они представлены преимущественно разнокристаллическими доломитами и крупнопористыми (почти ячеистыми) сильнотрещиноватыми известняками. Прослоями известняки окремнены и доломитизированы. Большая часть разреза сложена породами, которые разрушены процессами выветривания, выщелачивания и растворения до состояния дресвы, щебня и муки, местами практически на всю мощность. Наибольшее количество разрушенных зон (10 и 6) встречено в скважинах 7/12 и 7/13. Их общая высота составила 13,9 и 11,4 м соответственно.

Кроме того, всеми глубокими скважинами были вскрыты полости, заполненные как водой, так и разрушенными карстующимися породами, редко четвертичными отложениями. Максимальное количество полостей (11) было зафиксировано в скважине 7/11. Их общая высота составила 2,1 м. Самая большая полость (высотой 2,0 м) была зафиксирована при бурении скважины 7/9, которая расположена в 4,5 м к северу от подошвы земляного полотна магистральной железной дороги Москва — Казань (участок ст. Арзамас-II — ст. Канаш). Всего глубокими скважинами было вскрыто 18 полостей.

Мощность карбонатных отложений в районе провала составила 28,0–30,0 м. Они залегают на глубоко размывтой и неровной поверхности сакмарских отложений.

Отложения *сакмарского яруса* нижней перми на участке исследований вскрываются на глубине 52,3–56,7 м. До глубины 101 м разрез представлен гипсом разных генераций — от скрыто- до крупнокристаллического, сахаровидного и мелоподобного, от очень

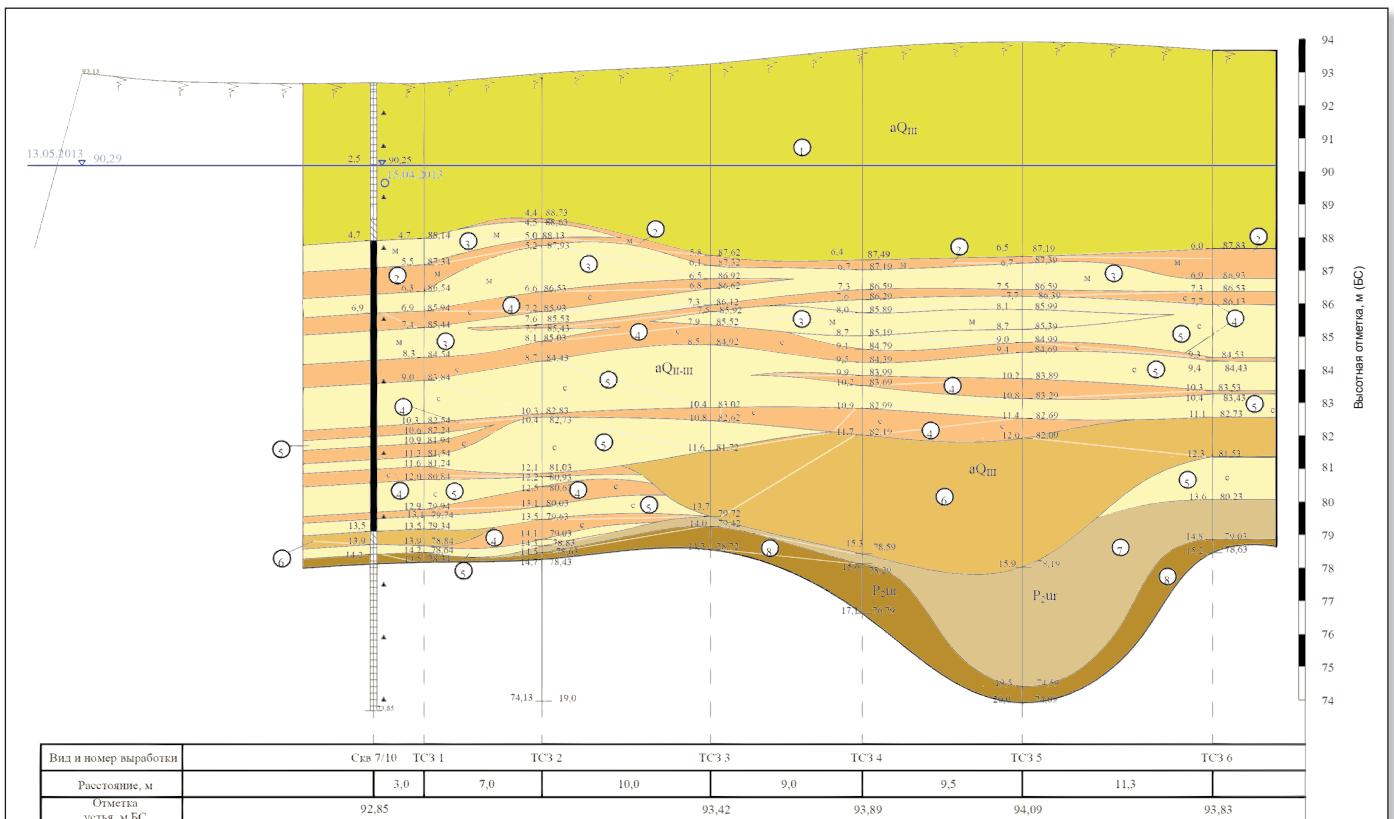


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по линии IV-IV. Условные обозначения — см. рис. 3



слабого до очень крепкого, от слабо- до сильнотрещиноватого. Ангидриты были вскрыты только скважиной 7/13 начиная с глубины 71 м. В разрезе выделяются зоны, представленные разрушенными гипсами, а также «зоны цементации древнего карста», представленные гипсово-глинистой плотно сцементированной породой.

В скважинах 7/12 и 7/9 было зафиксировано наибольшее количество разрушенных зон (8 и 5 соответственно). Их общая высота составила 5,3 и 6,6 м соответственно. В остальных скважинах (кроме 7/13) было отмечено по одной разрушенной зоне высотой 3,2 м.

Максимальное количество «зон цементации древнего карста» (6) было вскрыто скважиной 7/12. Их общая высота составила 7,4 м.

Четырьмя глубокими скважинами были вскрыты полости, заполненные водой и/или разрушенными сульфатно-глинистыми породами. Наибольшее количество полостей было зафиксировано в скважинах 7/9 и 7/12 (по две в каждой). Их общая высота составила 2,8 и 5,6 м соответственно. Самая большая полость высотой 4,8 м была вскрыта скважиной 7/12.

Тектоника

В тектоническом плане территория исследований располагается на юго-восточном склоне локальной Бутурлинской положительной структуры третьего порядка в пределах Вельдемановского вала. Непосредственно на рассматриваемом участке по поверхности казанских отложений прослеживается небольшая положительная структура с падением на север на 6,3 м (от скважины 7/9 до скважины на ул. Спортивной). При этом расстояние между указанными скважинами составляет около 400 м. Почти по линии «север — юг» располагаются: воронка, находящаяся южнее железной дороги; промоина, в северном завершении которой произошел провал; группа из трех воронок на ул. Школьной; меандр р. Пьяны. Они, скорее всего, приурочены к разлому, оперяющему разлом фундамента северо-западного простирания, ограничивающий с севера Вельдемановский вал.

На данной территории также четко прослеживаются проявления новейших восходящих движений в зоне Алатырского вала, с которыми тесно связано обновление карстовых процессов в среднем течении р. Пьяны, следствием которых, очевидно, и явилось образование рассматриваемого провала и примыкающего к нему провала с северо-запада, образовавшегося примерно 120–150 лет назад. Новейшие тектонические движения проявляются в необычно большом падении русла р. Пьяны (не увязываемом с характером строения долины), неоднократных прорывах меандров и вторичном выпрямлении русла, что мы и наблюдаем в районе р.п. Бутурлино.

Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия характеризуются наличием двух основных водоносных горизонтов — аллювиального и трещинно-карстового.

Аллювиальный водоносный горизонт приурочен к четвертичным отложениям. Водовмещающими породами служат пески различной крупности и плотности сложения. Горизонт характеризуется высокими водообильностью и агрессивностью вод по отношению к

карстующимся породам. Уровни грунтовых вод при проведении инженерно-геологических изысканий в мае 2013 г. установились на глубине 2,5–3,7 м, что на 0,6–2,1 м выше пьезометрического уровня трещинно-карстовых вод. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод, а основная разгрузка — в р. Пьяну и в нижележащий водоносный горизонт.

Трещинно-карстовый водоносный горизонт имеет региональное распространение и приурочен к карбонатным и сульфатным отложениям казанского и сакмарского ярусов пермской системы. Водовмещающими служат трещиноватые и разрушенные до состояния щебня, дресвы и муки карстующиеся породы. Воды рассматриваемого горизонта являются напорными. Высота напора в период проведения изысканий составляла 19,7–24,4 м. Основная область питания горизонта располагается за пределами исследуемого участка, частичная его подпитка осуществляется за счет аллювиальных вод, а также речных вод в период паводка. Разгрузка происходит в р. Пьяну. Верхним относительным водоупором для горизонта служат глинистые отложения уржумского яруса средней перми. На участках их отсутствия трещинно-карстовый и аллювиальный водоносные горизонты гидравлически связаны. Нижним водоупором служат монолитные ангидриты и гипсы сакмарского яруса нижней перми. По отношению к карстующимся породам воды меняются от неагрессивных до агрессивных (на участках отсутствия верхнего водоупора), в особенности к карбонатным породам.

Геофизические исследования

Параллельно с выполнением комплекса инженерно-геологических изысканий сторонней организацией на железнодорожной линии ст. Арзамас-II — ст. Канаш (ПК 5, 487 км) проводились сейсморазведочные работы методом преломленных волн. Рассмотрим и прокомментируем *выводы*, сделанные геофизиками (далее выделены курсивом) по результатам выполненных исследований.

1. С поверхности по всем сейсмическим профилям выделена маломощная зона (≈ 3 м), трактуемая как «слой сухих песков зоны аэрации». Однако по результатам инженерно-геологических изысканий (по скважине 7/9, расположенной примерно в 25–27 м севернее от сейсморазведочных профилей), и данным региональных исследований с поверхности и до глубины 6 м четвертичные отложения сложены макропористыми суглинками.

2. Отложения уржумского яруса средней перми представлены «плотными глинистыми разностями». Однако сотрудниками ОАО «ПКИБЗ» на всей исследуемой территории отложения уржумского яруса были разделены на два слоя. Первый в основном представлен слабыми глинистыми грунтами (мощностью 3,5 м по данным скважины 7/9), второй — плотными и твердыми глинами (мощностью 5,3 м по скважине 7/9).

3. Полускальные карбонатные отложения пермского возраста являются «хорошо сохранными». Однако с этим обстоятельством нельзя согласиться, т.к. ближайшей скважиной (7/9) в данных отложениях были вскрыты две полости, суммарная высота которых составила 2,3 м, и в толще карстующихся пород

были выявлены многочисленные прослои пород, разрушенных в основном до состояния муки. Кроме того, всеми скважинами, пробуренными в районе исследований, в рассматриваемых отложениях также вскрыты полости и разрушенные зоны.

4. *Ниже по разрезу выделяется граница более высокоскоростного сейсмослоя. Однако уровень помех не позволяет с достаточной уверенностью оценить его скоростные параметры и глубину залегания.* Приведенное обстоятельство не дает возможности установить подземную закарстованность сакмарских отложений, а по данным скважины 7/9 она значительна. В этих отложениях вскрыты заполненные полости суммарной высотой 2,8 м, пять разрушенных зон общей высотой 6,6 м и две «зоны цементации древнего карста» высотой 0,5 и 1,2 м.

5. *Активного развития карстово-суффозионных процессов в пределах сейсмического профиля не отмечено.* На основании анализа геолого-гидрогеологической и карстологической обстановки данный вывод, по мнению авторов статьи, не соответствует реальному положению дел на исследуемом участке.

Подводя итог по пунктам 3, 4 и 5, следует отметить, что в рассматриваемых инженерно-геологических условиях или им аналогичных сохранность карстующихся пород геофизическими методами, по мнению авторов статьи, на текущий момент времени установить весьма трудно. Эти исследования на данном этапе развития позволяют получить только приблизительную информацию о грунтовой массе [2] которая может быть использована для ориентировочного расчленения грунтовой толщи.

Таким образом, геофизические исследования не дали объективных данных о геологическом строении и степени подземной закарстованности исследуемой площадки и, следовательно, они не использовались авторами при оценке ее карстоопасности.

Авторы статьи с учетом накопленного многолетнего опыта сочли целесообразным акцентировать внимание на следующих положениях по использованию геофизических методов для оценки карстоопасности площадок.

1. *Геофизические методы целесообразно применять только при небольшой мощности (4–15 м) покровной толщи грунтов и при глубине карстующихся отложений не более 30–40 м (п. 5.3.5 СП [6]).* В противном случае данные методы, как показала многолетняя практика, неэффективны, что также было продемонстрировано выше.

2. *Геофизические исследования необходимо проводить только в сочетании с другими видами инженерно-геологических работ (п. 5.2.5 СП [6]).* При этом первоначально должны выполняться именно геофизические исследования, а затем с учетом полученных результатов должно корректироваться расположение точек статического зондирования, горных выработок (п. 5.3.6, 5.5.2 СП [6]) и пр. Многолетним опытом подтверждено, что *выполнять оценку карстоопасности площадок только на основании результатов геофизических исследований недопустимо.*

3. *Необходимо выполнять проверку всех выявленных геофизических аномалий буровыми работами (п. 5.5.2 СП [6]),* т.к. геофизическими методами невоз-

можно конкретизировать слово «аномалия» для принятия соответствующих объективных инженерных решений. Под данным словом могут пониматься разуплотненные, трещиноватые и разрушенные зоны, а также как заполненные, так и незаполненные полости и т.п. Следовательно, и подходы к оценке карстоопасности площадок в зависимости от вида зафиксированных аномалий должны быть разными.

Все вышеприведенные положения содержатся в СП 11-105-97, часть II [6]. Однако на практике в подавляющем большинстве случаев они полностью не выполняются.

Анализ результатов инженерно-геологических изысканий

На основании результатов выполненных изысканий можно констатировать следующее:

- наличие множества поверхностных карстопроявлений, выявленных в ходе рекогносцировочных работ, свидетельствует о плохой сохранности карстующихся пород и, как следствие, о существенной закарстованности исследуемого участка;
- выявленные в результате статического зондирования и буровых работ многочисленные подземные карстопроявления в отложениях четвертичного и пермского возрастов также свидетельствуют о значительной закарстованности массива пород;
- так как покровная толща грунтов частично сложена водонасыщенными песками, то карстовые процессы на рассматриваемой территории осложнены суффозионными процессами, возникающими в результате проникновения песков в полости, разрушенные и трещиноватые зоны, что нередко фиксировалось при выполнении буровых работ;
- суффозионные процессы наиболее активизированы в зоне, примыкающей к железной дороге, вследствие воздействия на грунтовой массив вибродинамических нагрузок (об этом позволяет судить, например, тот факт, что в скважине 7/9 полости, вскрытые в карбонатных отложениях, нередко заполнены песком);
- гидрогеологические условия исследуемой территории способствуют развитию карстово-суффозионных процессов, особенно на участках гидравлической взаимосвязи аллювиального и трещинно-карстового водоносных горизонтов;
- тектоническая трещиноватость отложений пермского возраста способствует развитию карстовых процессов за счет концентрированного подтока агрессивных вод в массив карстующихся пород;
- выполаживание провала будет происходить в течение длительного времени, о чем свидетельствуют результаты непосредственных наблюдений.

Оценка карстоопасности участка и практические рекомендации

Практические рекомендации по специфике хозяйственного освоения зоны расположения изученного провала были назначены исходя из проведенного комплекса инженерно-геологических изысканий и карсто-во-провальных рисков.



Требование о необходимости определения рисков опасных геологических процессов и сравнения их с допустимыми значениями содержится в регламенте [8].

В данном исследовании были оценены удельные карстово-провальные риски (P_r) на единицу площади (1 га) за расчетный срок службы 100 лет. Оценка производилась в соответствии с методикой, изложенной в рекомендациях [4] и научно-технических публикациях [9–11]. Исходными данными для такой оценки явились: категории устойчивости территории по интенсивности провалообразования (I, II, III), средний (d_{cp}) и максимальный (d_{max}) диаметры карстово-провальных воронок. Значение допустимого удельного

карстового риска R_n для территории, застроенной частными домами, принято равным 0,05 [4].

На основании выполненного комплекса инженерно-геологических изысканий была составлена карта районирования территории, прилегающей к образовавшемуся провалу, по категориям карстоопасности в отношении интенсивности провалообразования (рис. 5).

Как уже отмечалось, на момент выполнения геодезической съемки (май 2013 г.) провал имел размеры 60×62 м и отвесные борты. С течением времени его борты будут продолжать выполаживаться, а глубина — уменьшаться. Было установлено, что диаметр провала с течением времени увеличится на 25–28 м. Следовательно, диаметр провальной воронки

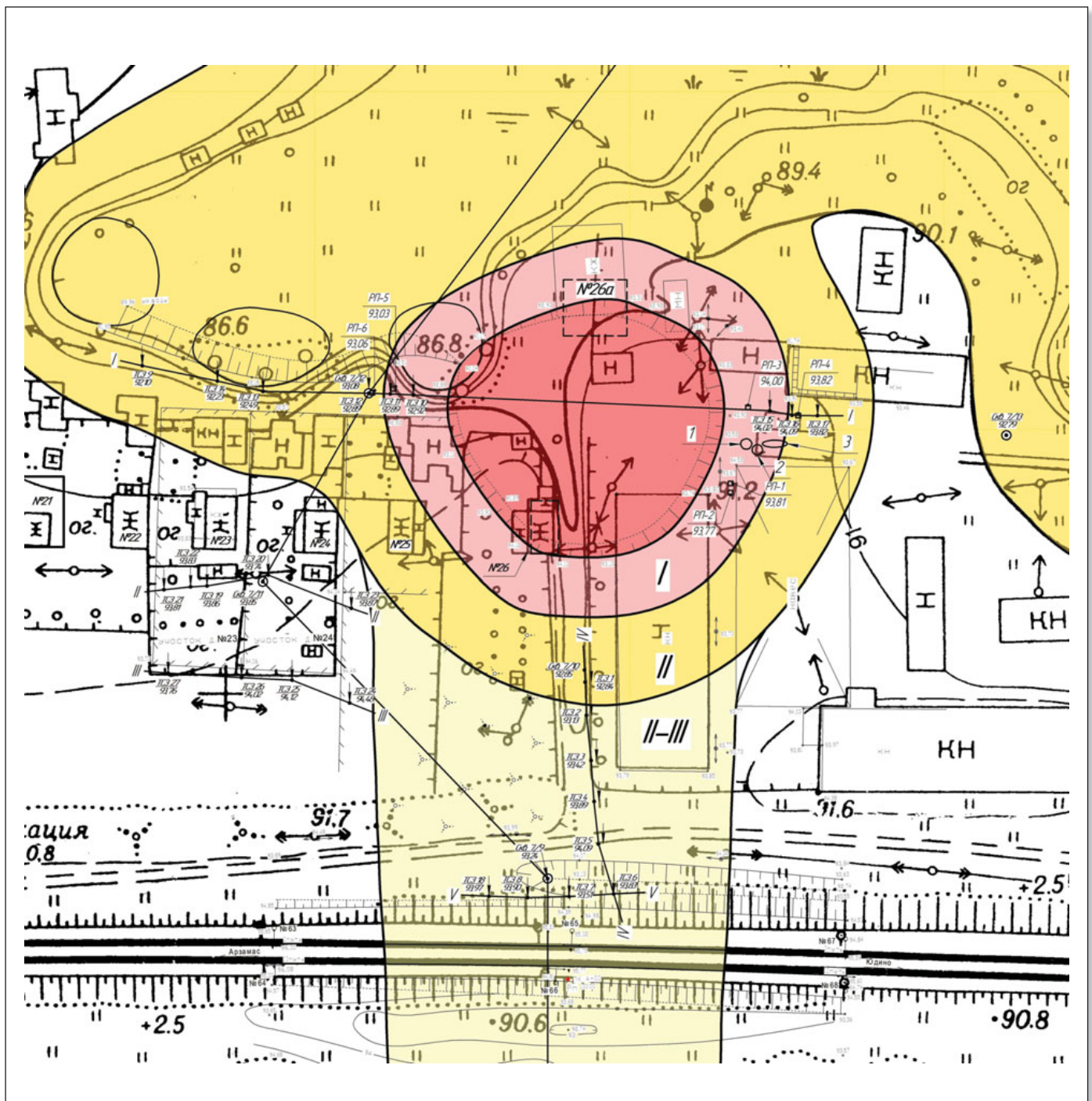


Рис. 5. Фрагмент карты районирования территории, прилегающей к образовавшемуся провалу. Условные обозначения: I–III — категория устойчивости территории в отношении интенсивности провалообразования (количества провалов в год на 1 км²)

составит около 85–90 м [12]. Поэтому территория в пределах этого контура отнесена к *I категории карстоопасности* по интенсивности провалообразования ($\lambda > 1,0$ пров./ $(\text{год} \cdot \text{км}^2)$). Удельный карстово-провальный риск $P_{r,I}$ получен больше 0,72, что превышает его допустимое значение более чем в 14,4 раза. Поэтому данная территория охарактеризована как **зона весьма высокого риска**. Следовательно, строительство и эксплуатация объектов, а также постоянное пребывание людей в пределах указанного контура недопустимо.

За пределами данного контура, на расстоянии около 20 м от его границ [5] и верхней кромки эрозионно-карстового понижения, была выделена территория, характеризуемая *II категорией карстоопасности*, с показателем интенсивности провалообразования $\lambda = 0,1 \div 1,0$ пров./ $(\text{год} \cdot \text{км}^2)$. По результатам анализа материалов выполненных инженерно-геологических изысканий данная территория характеризуется благоприятными условиями для развития карстовых деформаций земной поверхности. Значение удельного карстово-провального риска $P_{r,II}$ составило 0,12–0,72, что больше его допустимого значения в 2,4–14,4 раз. Указанная территория охарактеризована как **зона реального риска**. В ее пределах на границе с территорией, имеющей I категорию карстоопасности, находится дом № 25, заселение которого недопустимо.

Остальная часть исследуемого участка, за исключением узкой полосы меридионального простираения от провала до понижения, расположенного южнее железнодорожного полотна, была отнесена к *III категории карстоопасности* в отношении интенсивности провалообразования ($\lambda = 0,05 \div 0,1$ пров./ $(\text{год} \cdot \text{км}^2)$). Значение удельного карстово-провального риска $P_{r,III}$ здесь составило 0,12–0,06, что больше его допустимого значения в 1,2–2,4 раза. Данная территория охарактеризована как **зона необходимого жесткого контроля карстового риска**. Дом № 24, расположенный на границе с территорией, отнесенной ко II категории карстоопасности, также не подлежит заселению, т.к. при выполнении бурения скважины 7/11 и статического зондирования была выявлена значительная подземная закарстованность пород. Для остальных зданий (жилых домов № 23–21), расположенных в данной зоне риска, обязательно выполнение следующего комплекса планировочных и эксплуатационных мероприятий:

- недопущение любых утечек из водонесущих коммуникаций, особенно сосредоточенных в пределах контуров зданий и вблизи них, т.к. они сильно ускоряют развитие карстовых процессов [3];
- организация поверхностного стока на площадках расположения объектов и вблизи них;
- регулярный мониторинг состояния конструкций зданий, а также близлежащих территорий;
- инструктаж всех жителей рабочего поселка и соответствующих органов власти о порядке их действий при возникновении аварийных ситуаций.

При этом все противокарстовые мероприятия не должны приводить к активизации карстовых процессов на соседних территориях (п. 6.11.12 [7]). Кроме того, настоятельно рекомендовано установить подземные реперы с подвижными штангами для определения

начала подвижек грунтов, слагающих покровную толщу. Такие реперы широко применяются, например, в Германии [12].

В дополнение к вышеуказанным мероприятиям были даны следующие *основные рекомендации по хозяйственному освоению зоны, прилегающей к провалу*, а также и самого р.п. Бутурлино:

- необходимо отказаться от работ по засыпке образовавшегося провала, т.к. это является не только экономически нецелесообразным, но и опасным действием (например, в 2012 г. попытка проведения таких работ в городе Березники Пермского края привела к гибели человека и утрате землеройной техники);
- строительство сооружений на территориях, характеризующихся II категорией карстоопасности и ниже (менее благоприятных для развития карстовых процессов), необходимо выполнять с применением комплекса противокарстовых мероприятий, состав и объем которых устанавливается специализированными организациями и только после проведения инженерно-геологических (карстологических) изысканий на конкретном участке строительства;
- требуется провести карстологические исследования на всех участках расположения экономически, экологически и социально значимых объектов;
- необходимо выполнить районирование территории р.п. Бутурлино и его окрестностей по карстоопасности с оценкой карстовых рисков, т.к. такого рода исследования здесь никогда не проводились;
- следует провести карстологические изыскания по всему 487 км железной дороги на участке ст. Арзамас-II — ст. Канаш для определения или уточнения необходимого комплекса противокарстовых мероприятий.

Общие выводы

Как показала многолетняя практика, объективную оценку карстоопасности территорий и строительных площадок можно получить только после проведения соответствующего комплекса инженерно-геологических изысканий. При этом необходимо строго соблюдать последовательность выполнения соответствующих видов работ.

На основании многолетнего опыта можно констатировать, что на данный момент времени геофизические исследования, выполняемые для оценки карстоопасности площадок, неэффективны без заверочного бурения [6]. Целесообразность их применения должна обосновываться в каждом конкретном случае. Такие исследования являются перспективными, но нуждаются в достаточно существенном научно-методическом и техническом совершенствовании.

Геофизические исследования для оценки карстоопасности площадок необходимо выполнять в строгом соответствии с требованиями СП 11-105-97, часть II [6] и с учетом накопленного опыта по проведению данных работ.

Противокарстовые мероприятия должны назначаться исходя из объективной оценки карстовой опасности территории, выполняемой с учетом карстовых рисков.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдько Р.Б., Махнатов С.А., Уткин М.М., Зотов Р.В. Гигантские карстовые провалы в Нижегородской области // Природа. 2013. № 5. С. 59–60.
2. Зиангиров Р.С., Каширский В.И. К вопросу об определении модуля деформации грунтов // Материалы 9-й Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М.: ООО «Геомаркетинг», 2013. С. 17–24.
3. Мартин В.И., Усольцев Л.Н. Опыт многолетнего изучения карстового провала в г. Уфе // Межвузовский сборник научных трудов «Гидрогеология и карстование». Пермь: Пермский университет, 1981. С. 66–72.
4. Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород: Департамент градостроительного развития территории Нижегородской области, 2012.
5. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М.: Изд-во ПНИИИС, 1995.
6. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II: Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000.
7. СП 22.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*). Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011.
8. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ (с изменениями и дополнениями). М.: ГД СФ РФ, 2009.
9. Толмачев В.В. Оценка рисков при строительстве в карстовых районах // Материалы 10-й научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций». М., 2010. С. 282–290.
10. Толмачев В.В., Махнатов С.А., Уткин М.М. Численное моделирование карстового риска для строительных объектов // Доклады и выступления 11-й научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». М., 2011. С. 185–189.
11. Толмачев В.В., Махнатов С.А., Уткин М.М., Давыдько Р.Б. Основные результаты исследований по оценке карстового риска при строительстве // Проектирование и инженерные изыскания. 2013. № 2 (20). С. 40–47.
12. Уткин М.М., Давыдько Р.Б. Механизм (стадии) образования крупного карстового провала в р.п. Бутурлино Нижегородской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексное использование и охрана подземных пространств». Пермь, 2014. С. 363–368.
13. Reuter F., Tolmachev V.V., Molek H., Suderlau G., Khomenko V.P. Bauen und bergbau in senkungs- und erdfallgebieten: eine ingenieur-geologie des karstes. Berlin: Akademie Verlag, 1990.

ЖУРНАЛ

о людях
 о землетрясениях
 о неустойчивых склонах и оползнях
 о вулканах
 о наводнениях и ураганах
 ...
 о прогнозировании и предупреждении ЧС
 о важности работы изыскателей

e-mail: info@geomark.ru