

КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ И ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ИХ ОПАСНОСТИ

<https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-24-32>

УДК 551.44; 624.131



Источник фото: <https://b1.mreporter.ru/c/11548.jpg>

КОЧЕВ А.Д.*

ООО «Транспроектинжиниринг», г. Москва, Россия, a.kochev@mail.ru

Адрес: ул. Шереметьевская, д. 47, г. Москва, 127521, Россия

ЧЕРТКОВ Л.Г.

ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, Россия

Адрес: ул. Маршала Рыбалко, д. 4, г. Москва, 123060, Россия

ЗАЙОНЦ И.Л.

ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, Россия

Аннотация

Изучение процессов, приводящих к образованию воронок на поверхности земли на территории г. Москвы, началось в конце 60-х гг. прошлого века. К настоящему времени выявлено 42 карстово-суффозионные воронки. Анализ всех изученных воронок города с подтвержденной приуроченностью их к древнему карсту показал, что средний размер данных форм в плане составляет 13,1 м, изменяясь от 1,5 до 53 м. При этом все расчеты возможных диаметров воронок, выполненные при инженерно-геологических изысканиях в Москве, обычно сводятся к значениям менее 3 м, реже достигают 5–6 м. Подавляющее число специалистов высказываются о назревшей необходимости изменить и усовершенствовать содержание свода правил в части инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях. Существующие расчетные схемы зачастую используются необоснованно, нередко результат подгоняется под «нужные» проектировщикам и строителям значения. Оценка опасности современных карстово-суффозионных процессов, осуществляемая на основании созданной специалистами Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН и ГУП «Мосгоргеотрест» в 2012 г. «Карты опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов» (масштаб 1:10 000), вызывает множество критических замечаний, что определяет необходимость проведения районирования территории с использованием более значимых критериев. В работе предлагается новый подход, при котором учитываются результаты типизации геолого-гидрогеологических условий 42-х карстово-суффозионных воронок, образовавшихся в Москве. В этом случае прогноз опасности осуществляется на основе анализа природных обстановок, где уже реализован опасный процесс с выходом на поверхность в виде таких воронок.

Ключевые слова:

карст; карстово-суффозионный провал; карстово-суффозионная воронка; инженерно-геологические изыскания; закарстованный карбонатный массив; районирование и прогноз карстово-суффозионной опасности

Ссылка для цитирования:

Кочев А.Д., Чертков Л.Г., [Зайонц И.Л.], 2018. Карстово-суффозионные процессы на территории г. Москвы и проблема оценки их опасности. Инженерная геология, Том XIII, № 6, с. 24–32, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-24-32>

KARST-SUFFUSION PROCESSES ON THE TERRITORY OF MOSCOW AND THE PROBLEM OF THEIR HAZARD ASSESSMENT

ANDREI D. KOCHEV*

*"Transprojectengineering" LLC, Moscow, Russia
Address: Bld. 47, Sheremetevskaya St., 127521, Moscow, Russia*

LEONID G. CHERTKOV

*FSBE "Hydrospetzgeologiya", Moscow, Russia
Address: Bld. 4, Marshala Rybalko St., 123060, Moscow, Russia*

IGOR L. ZAYONTS

FSBE "Hydrospetzgeologiya", Moscow, Russia

Abstract

The study of the processes leading to the formation of sinkholes on the surface of the earth on the territory of Moscow began in the late 60s of the last century. To date, 42 karst-suffusion funnels have been identified. Analysis of all the studied city sinkholes with their confirmed association with the ancient karst showed that their average size of these forms in the plan is 13.1 m, varying from 1.5 to 53 m. At the same time, all calculations of possible diameters of the sinkholes made during engineering-geological surveys in Moscow are usually reduced to values less than 3 m, less often they reach 5 – 6 m. The overwhelming number of specialists speak about the urgent need to change and improve the content of the set of rules in terms of engineering-geological surveys in karst areas. Existing calculation models are often used unreasonably, often the result is tailored to the "necessary" values for designing engineers and builders. Hazard assessment of modern karst-suffusion processes, carried out on the basis of the "Hazard maps of ancient karst forms and modern karst-suffusion processes" (scale 1:10 000) created by the specialists of the Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS and the State Unitary Enterprise Mosgorgeotrest in 2012, which determines the need for regional zoning using more meaningful criteria. The paper proposes a new approach, which takes into account the results of the typification of geological-hydrogeological conditions of 42 karst-suffusion sinkholes formed in Moscow. In this case, the hazard prediction is carried out on the basis of an analysis of natural conditions, where a hazardous process has already been implemented with access to the surface in the form of such sinkholes.

Key words:

karst; karst-suffusion failure; karst-suffusion sinkhole; geological engineering surveys; karst carbonate massif; zoning and forecast of karst-suffusion danger

For citation:

Kochev A.D., Chertkov L.G., [Zayonts I.L.], 2018. Karst-suffusion processes in the territory of Moscow and the problem of their hazard assessment. *Engineering Geology*, Vol. XIII, No. 6, pp. 24–32, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-24-32>

Введение

Целенаправленное изучение процессов, приводящих к образованию воронок на поверхности земли на территории г. Москвы, началось в конце 60-х годов прошлого века. Уже были известны случаи деформаций и разрушений жилых зданий, связанные с развитием карстово-суффозионных процессов.

К настоящему времени выявлены 42 карстово-суффозионные воронки (КСВ) [9], разрушены 4 жилых здания, из которых все жители были вовремя эвакуированы; обошлось без жертв. Это говорит о том, что опасность развития карстово-суффозионного процесса (КСП) на территории г. Москвы очевидна. Актуальность оценки кар-

стово-суффозионной опасности (КСО) не вызывает сомнения.

В то же время за последние 30 лет не было зафиксировано ни одного случая образования КСВ, что прежде всего связано с остановкой (в 1989 г.) крупнейшего водозабора «Октябрьское поле» и, как следствие, с частичным восстановлением напоров в каменноугольных водоносных горизонтах. Такое «затишье» подтверждает мнение большинства специалистов, связывающих проявление КСП с интенсивными откачками подземных вод из каменноугольных водоносных горизонтов^{1,2} [1, 5, 7–9, 11 и др.], и опровергает позицию других [12] о естественной природе процесса.

¹ Кочев А.Д., 1990. Природа и механизм карстово-суффозионных процессов на территории г. Москвы и совершенствование методики их инженерно-геологического изучения. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук, МГРИ им. С. Орджоникидзе, Москва.

² Чертков Л.Г., 1984. Карстовые и суффозионно-провальные явления на территории г. Москвы и методика их инженерно-геологического изучения. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук, МГУ, Москва.

Современные методы оценки КСО на территории Москвы регламентируются следующими нормативными техническими документами: СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», Картой опасности древних карстовых форм и современных КСП в масштабе 1:10 000 [6], «Инструкцией ...»³. При этом сначала устанавливается принадлежность участка проведения детальных инженерно-геологических изысканий (ИГИ) (обычно в масштабах 1:200–1:2 000) к определенному району по степени опасности. В случае, если таковыми оказываются опасные или потенциально опасные районы, то, согласно СП 47.13330.2012, необходимо получить значение расчетного диаметра карстового провала. Применение данного параметра зачастую может приводить к недостаточной защите зданий и сооружений на действительно опасных территориях и, наоборот, — к завышению объемов защитных мероприятий на потенциально опасных территориях, которые часто после детальных ИГИ оказываются неопасными.

Расчеты диаметров карстовых провалов базируются главным образом на разработках М.М. Протодяконова [13], Г.М. Шахунянца [18], В.В. Толмачева [14], В.П. Хоменко [15], А.В. Анисеева [4], В.М. Кутепова [10] и др. В большинстве таких расчетных схем используется модель, основанная на механизме провала разделяющих глин в карстовую полость, расположенную в подошве этих глин, и трансляции разрушения через рыхлые покровные отложения на дневную поверхность. Данный процесс провалообразования протекает обычно достаточно быстро, что определяет его возможную катастрофичность, если затрагивает различные элементы городской инфраструктуры.

На практике пока не удается определить параметры таких зон как прямыми, так и косвенными методами. Это крайне затрудняет использование расчетных схем при оценке возможных диаметров образующихся КСВ. Расчет диаметра провальной воронки, часто используемый специалистами при оценке КСП в процессе инженерно-геологических изысканий, невозможен применительно к московским условиям, так как не отвечает механизму развития процесса. Знание последнего является необходимым для осуществления любых оценок опасности КСП^{1,2,4} [1, 2, 3, 5, 8, 16, 17]. К сожалению, к настоящему времени еще не разработана расчетная схема, адекватно описывающая предложенный автором¹ [8] механизм протекания КСП. Это является предметом наших дальнейших исследований.

Карстово-суффозионные воронки в Москве

Анализ всех изученных воронок г. Москвы с подтвержденной приуроченностью их к древнему карсту показал, что средний размер данных форм в плане составляет 13,1 м, изменяясь от 1,5 до 53 м; встречаются такие значения, как 20, 22, 24, 28 и 40 м [19]. При этом все расчеты возможных диаметров воронок, выполненные при ИГИ в Москве, обычно сводятся к значениям менее 3 м, реже до 5–6 м и крайне редко — более. Интересно акцентировать внимание на таких фактах, когда при сравнении пар

воронок с одинаковыми геолого-гидрогеологическими условиями, их зафиксированные диаметры в сильной степени отличаются. Например, 20 и 7 м, 10,5 и 40 м, 14 и 28 м, 7 и 1,5 м, 20 и 12 м. То есть в одинаковых условиях развития воронок диаметры кардинально, в разы, различаются. Причина этого может заключаться, прежде всего, в неодинаковых коллекторских свойствах карбонатного массива, в его возможности принять выносимый несвязный материал. Оценить же указанный объем принимаемого массивом материала на сегодняшний день не представляется возможным. Для таких воронок расчетные схемы также будут одинаковыми. Это подтверждает вывод о том, что использование существующих расчетных схем для определения диаметров воронок неоднозначно и, как следствие, не дает возможности учитывать результаты расчетов для проектирования зданий и сооружений применительно к условиям Москвы.

В карстовых районах предлагается использовать вероятностно-статистические методы (согласно⁴ [5, 16] и СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»), которые в условиях г. Москвы неприменимы, поскольку, во-первых, в Москве имеют место не карстовые провалы, а карстово-суффозионные оседания и, во-вторых, количество данных для применения этих методов недостаточно. К тому же распределение значений диаметров воронок носит полимодальный характер, причину которого еще предстоит установить. Возможно, это связано с двумя типами КСВ, приуроченными к древним карстовым провалам и неприуроченными («самостоятельными»). Кроме того, все 42 карстово-суффозионных воронки делятся на семь типов по геолого-гидрогеологическим условиям их развития [9], что определяет необходимость проведения математико-статистической обработки отдельно для каждого типа. Это приведет к резкому сокращению расчетных выборок, которые и без того весьма малы для корректного проведения математико-статистической обработки.

Применение вероятностно-статистических методов для условий Москвы еще и потому проблематично, что до конца не установлен точный период начала активизации КСП. Некоторые исследователи считают, что рассматриваемые процессы имели место задолго до первых деформаций домов в конце 50-х годов — в 30-е годы [12], другие приурочивают начало процесса к 60-м годам [11]. К тому же непонятно, как учитывать в расчетах последние 30 лет, когда не образовалось ни одной КСВ, генезис которой был бы подтвержден специальным комплексом инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических исследований² [8].

Подавляющее число специалистов высказываются о назревшей необходимости изменить и усовершенствовать содержание свода правил (СП) в части инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях. Существующие расчетные схемы зачастую используются необоснованно, нередко результат подгоняется под «нужные» проектировщикам и строителям значения.

Механизм обрушения во многих расчетных схемах часто предусматривает наличие карстовой полости в кровле

³ Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов, 1984. Мосгорисполком, Москва.

⁴ Саваренский И.А., Миронов Н.А., 1995. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. ПНИИИС Госстроя РСФСР, Москва.

закарстованного карбонатного массива, в которую и происходит обрушение вышележащих юрских или (и) верхнекаменноугольных глин с последующим выносом залегающего выше песчаного материала в карстовые полости и трещины. На практике в процессе бурения скважин все выявленные открытые карстовые полости чаще всего расположены на глубинах от 5 до 20 м ниже кровли карбонатного массива², резко уменьшаясь по размерам и встречаемости с глубиной (встречаются обычно до 50 м от кровли каменноугольных пород).

Механизм образования карстово-суффозионных воронок в Москве

В результате комплексных ИГ исследований на северо-западе г. Москвы был предложен механизм образования КСВ¹ [8], который заметно отличается от предложенных ранее (рис. 1). Так, резкий скачок уровня подземных вод в каменноугольных отложениях (порядка 2–5 м за 1–2 дня) приводит к гидродинамическому разрыву относительно водоупорных глин в местах их повышенной трещиноватости и небольшой мощности. При этом размеры таких зон могут быть весьма невелики — 0,1–0,5 м в диаметре. Под действием градиента вертикальной фильтрации через нарушение в водоупоре происходит прорыв воды и привнос четвертичных песков в закарстованный карбонатный массив. В связи с этим над указанной зоной нижняя часть песчаной толщи оказывается разуплотненной. Далее процесс развивается снизу-вверх, захватывая все новые части разреза. В водоносной толще четвертичных отложений формируется своеобразный «купол разуплотнения». По достижении «куполом» уровня грунтовых вод (УГВ) начинается перераспределение масс песков зоны аэрации, где формируется «конус разуплотнения» с обращенной вниз вершиной, над которым, собственно, и образуется воронка оседания.

Размеры и скорость развития воронки определяются в основном глубиной залегания УГВ, расположением пьезометрической поверхности подземных вод в каменноугольных отложениях, наличием глинистых прослоев в водоносном горизонте и в зоне аэрации, их мощностью и глубиной залегания, а также количеством песчаного материала, способного выноситься в закарстованный массив. Трансляция зон разуплотнения от кровли юрских глин до поверхности земли может длиться до двух месяцев¹, то есть в московском регионе мы имеем дело не с быстрым провалообразованием, а с относительно медленным карстово-суффозионным оседанием. К сожалению, к настоящему времени еще не разработана расчетная схема, адекватно описывающая предложенный механизм протекания КСП. Это является предметом дальнейших исследований авторов работы.

Принципы и критерии районирования территории по степени карстово-суффозионной опасности

Краткий обзор проблемы районирования для территории Москвы

В связи с серьезными трудностями при определении прогнозных параметров КСВ на первый план обоснования карстовой опасности выступает точность и правильность оценки КСО по существующей и регламентируемой «Карте районирования ...» [6] и «Инструкции ...»³.

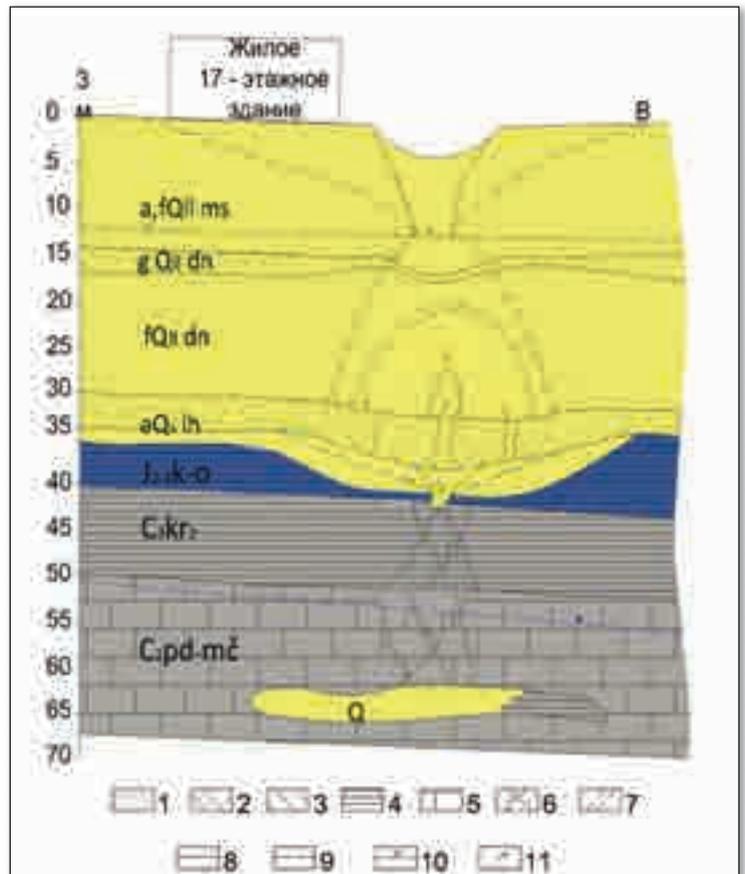


Рис. 1. Схема образования карстово-суффозионной воронки [9]: 1 — пески, 2 — супеси, 3 — суглинки, 4 — глины, 5 — известняки, 6 — трещины; геодинамически нарушенные зоны: 7 — выделенные по данным ВЭЗ МДС, 8 — выделенные по данным динамического зондирования, 9 — предполагаемые; 10 — уровень залегания подземных вод; 11 — направление движения песчаных масс

Fig. 1. Scheme of the formation of karst-suffosion sinkhole [9]: 1 — sand, 2 — sandy loam, 3 — loam, 4 — clay, 5 — limestone, 6 — cracks; geodynamically disturbed zones: 7 — selected according to VES by the method of two components, 8 — selected according to dynamic sounding, 9 — assumed; 10 — the level of groundwater occurrence; 11 — direction of movement of sand masses

Следует остановиться подробнее на принципах и критериях районирования [6], используемых при оценке опасности КСП.

Прежде всего, представляется нелогичным выделение двух категорий опасности — древних карстовых форм и современных КСП. Последние теснейшим образом связаны с древними карстовыми формами, которые являются приемником песчаного материала, выносимого из покровной толщи через сквозные нарушения в глинистом относительно водоупорном экране. В нашем случае опасность одна — возможность развития КСП с образованием КСВ на поверхности земли, что может нарушить устойчивость зданий, сооружений и коммуникаций.

На взгляд авторов, использование критерия районирования по степени закарстованности карбонатного массива не представляется возможным при масштабе карты 1:10 000, поскольку данный показатель обладает крайне сильной изменчивостью как по глубине, так и в плане. Последнее доказали детальные исследования, выполненные на северо-западе г. Москвы^{1,2} [8, 9]. Так, вблизи образовавшихся воронок степень закарстованности, зафиксиро-

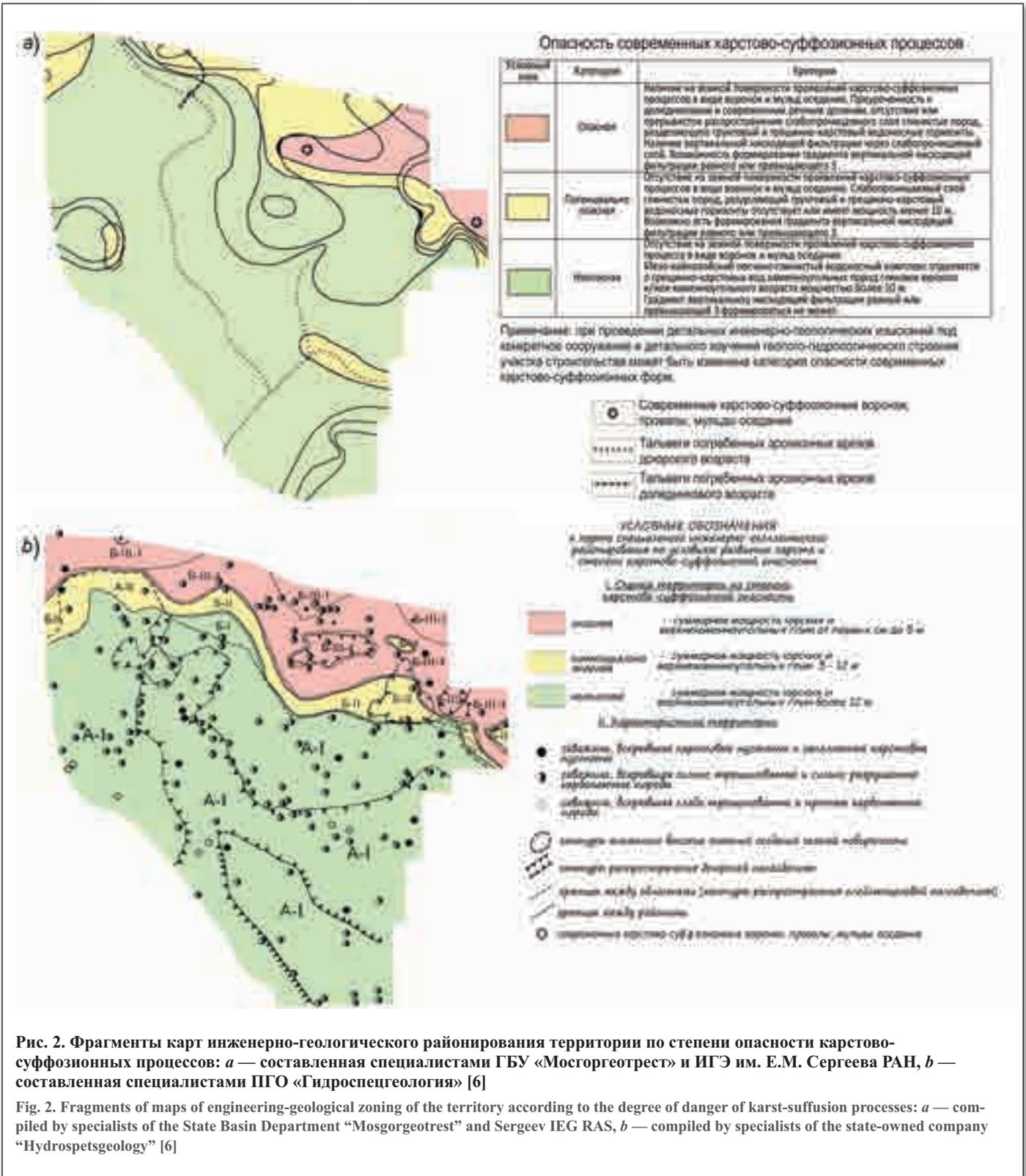


Рис. 2. Фрагменты карт инженерно-геологического районирования территории по степени опасности карстово-суффозионных процессов: а — составленная специалистами ГБУ «Мосгоргеотрест» и ИГЭ им. Е.М. Сергеева РАН, б — составленная специалистами ПГО «Гидроспецгеология» [6]
 Fig. 2. Fragments of maps of engineering-geological zoning of the territory according to the degree of danger of karst-suffusion processes: a — compiled by specialists of the State Basin Department “Mosgorgeotrest” and Sergeev IEG RAS, b — compiled by specialists of the state-owned company “Hydrospetsgeology” [6]

рованная по результатам бурения, была весьма высокой, а на расстоянии в 20–40 м от воронок менялась до средних и даже низких значений. На некоторых участках, отмеченных на рассматриваемой карте как неопасные, при бурении встречаются полости высотой более 1 м. А в районах, неопасных по развитию древних карстовых форм, зачастую наблюдаются образовавшиеся воронки (рис. 2). Такая сильная изменчивость степени закарстованности карбонатного массива не позволила использовать этот важный показатель в качестве критериального и при типологическом инженерно-геологическом районировании

территории по степени КСО на северо-западе Москвы в масштабе 1:2 000 [9], не говоря уже о масштабе 1:10 000. На карте районирования были только показаны средние значения степени закарстованности по скважинам. Оценить степень закарстованности можно лишь при выполнении детальных инженерно-геологических изысканий в масштабах 1:200–1:500, хотя сообщество специалистов уже давно ожидает разработок высокоточных геофизических методов, способных оценивать с высокой достоверностью состояние карбонатного массива и перекрывающего его глинистого экрана.

Возвращаясь к рассмотрению критериев опасности древних карстовых форм, можно видеть, что к неопасным на «Карте...» [6] отнесены районы, где карбонатные породы залегают под каменноугольными глинами. Однако КСВ могут образовываться и в таких типах разрезов, где известняки перекрыты верхнекаменноугольными глинами [9], а карбонатные породы сильно трещиноваты и закарстованы (открытые полости высотой более 1 м). В таком случае эти районы могут быть и опасными.

Некоторые неточности наблюдаются при выборе и использовании критериев районирования для оценки опасности современных КСП. Так, одним из критериев выделения опасных территорий в Аннотации к «Карте...» [6] указана приуроченность к доледниковым и современным речным долинам. При этом не уточняется, на основании каких выявленных закономерностей и как проводится граница опасного района. «Приуроченность» — это слишком абстрактная характеристика опасности; необходима формализация данного критерия для обоснования выделения границ на карте. Приуроченности же опасного района к современной гидросети вовсе не наблюдается. Скорее наоборот, неопасные районы в северо-западной части города тяготеют к долине р. Москвы.

В пределах опасных районов по возможности развития КСП зафиксированы и детально изучены КСВ в местах, которые на «Карте...» [6] соответствуют неопасным районам по наличию древних карстовых форм, что противоречит природе развития КСП.

В качестве критерия районирования по опасности КСП предлагается [6] наличие нисходящей вертикальной фильтрации через глинистый слабопроницаемый слой. Такая фильтрация действительно происходит интенсивно в локальных местах гидроразрыва глин и сопровождается суффозионным выносом песков в карбонатный массив при активизации КСП. Но как выявить и откартировать такие малые зоны, как реально использовать данный критерий, ясности нет. Невозможно ведь использовать все факторы, активизирующие развитие КСП, в качестве критерия при районировании территории. В качестве критерия районирования по опасности современных КСП авторами «Карты...» [6] вводится показатель «максимально возможного градиента вертикальной фильтрации» ($I_{МАКС}$), при котором УГВ находится на абсолютных отметках поверхности земли, а пьезометрический уровень в верхнем водоносном горизонте карбонатных пород — на поверхности их кровли. Сомнительность данного критерия подробно рассмотрена в работе [7].

Вообще градиент вертикальной фильтрации является динамичным, меняющимся во времени условным показателем, и может служить лишь в качестве характеристики участка работ на период его изучения, а не в качестве критерия районирования территории.

Важнейшее условие развития КСП в Москве — мощность юрского и верхнекаменноугольного глинистого слабопроницаемого экрана — в перечне критериев выделения разных по опасности территорий в рассматриваемой «Карте...» [6] отсутствует. Лишь косвенно в завуалированной форме она учитывается в показателе максимального градиента вертикальной фильтрации.

При изучении карты районирования ГБУ «Мосгоргеотрест» (см. рис. 2, а) создается впечатление, что опасный район по возможности развития КСП оконтурен только по одному принципу — площади распространения извест-

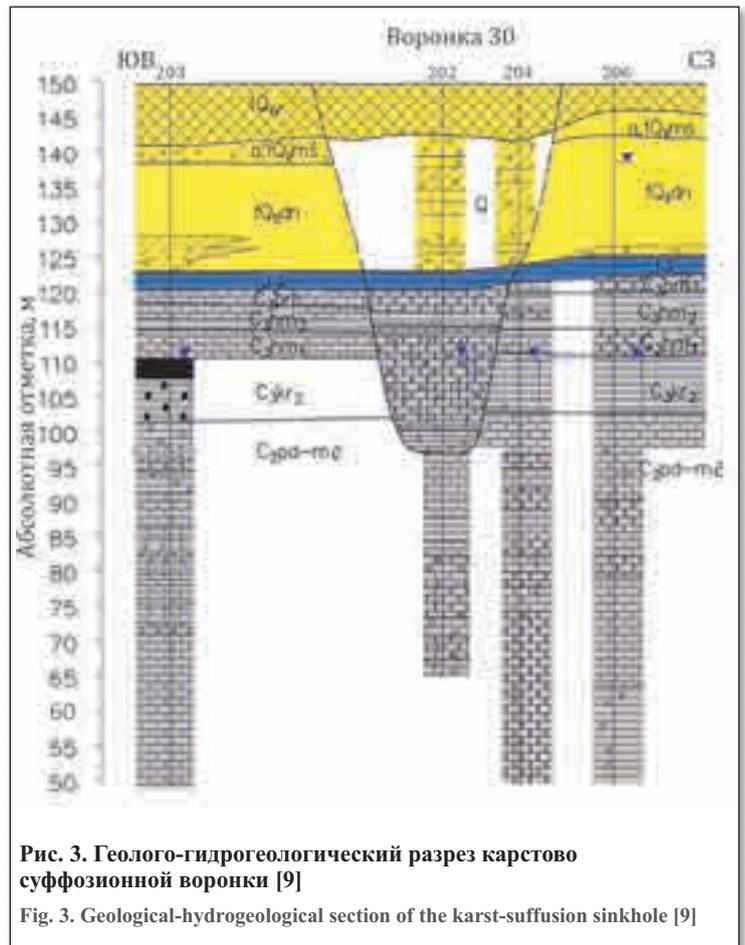


Рис. 3. Геолого-гидрогеологический разрез карстово-суффозионной воронки [9]

Fig. 3. Geological-hydrogeological section of the karst-suffusion sinkhole [9]

ных КСВ, граница которой проведена достаточно условно. Расстояния от воронок до границ опасного района всюду различные. Хочется отметить, что в условиях мегаполиса не исключены варианты, когда некоторые воронки не обследовались, не были задокументированы, поскольку были просто засыпаны, забетонированы или заасфальтированы по внегласным распоряжениям местных чиновников. Поэтому имеет смысл предполагать наличие других мест, где протекали КСП, незафиксированные впоследствии. Опасные районы характеризуются не только наличием образовавшихся КСВ, но и инженерно-геологическими условиями, благоприятными для их развития.

Результаты районирования применительно к северо-западной части г. Москвы

Другой подход был предложен в работах [8]. На основании комплексных инженерно-геологических исследований был составлен подробный паспорт на каждую из 42-х известных воронок, содержащий следующую информацию: номер воронки, местонахождение, год образования, размеры, структурное положение, палеогеоморфологическая характеристика, геоморфологические характеристики поверхности, глубина залегания кровли карбонатных пород, степень закарстованности карбонатных пород, приуроченность к древним карстовым провалам, мощность и глубина залегания водоупоров, мощность техногенных отложений, глубина залегания подземных вод, градиент вертикальной фильтрации. Так, мощность юрских глин изменяется от первых см до 5 м (это заставляет изменить регламентируемое критериальное их значение с 3 на 5 м), в среднем составляя 2,2 м; суммарная мощность юрских и верхнекаменноугольных

относительно водоупорных глин в среднем 5 м (минимальное значение — первые см, максимальное — 12 м); средняя мощность покровных мезо-кайнозойских отложений составила 41,4 м, варьируя от 25 до 65 м. Приуроченность к древним карстовым провалам установлена лишь для 4 воронок (10%), хотя представляется, что после проведения специальных исследований их число заметно возрастет. Средние, минимальные и максимальные глубины залегания уровня грунтовых вод и подольско-мячковского водоносного горизонта на период активного развития КСП в Москве (1949–1987 гг.), соответственно, составляют 13–7,5–20 м и 47,5–40–52 м. Градиент вертикальной фильтрации на тот же период — от 3 до 36 (средний — 11,5). Все 42 воронки расположены в пределах третьей (ходьинской) надпойменной террасы.

Затем была проведена типизация условий их образования по сходству геолого-гидрогеологического строения участков [9]. Пример типа геолого-гидрогеологических условий образования одной из таких воронок представлен на рис. 3.

После этого исследуемая территория оценивалась применительно к выявленным типам условий по опасности КСП. Работа выполнялась в масштабе 1:2 000 (рис. 4, б). Таким образом, во-первых, были учтены конкретные типы условий, в которых фактически уже образовались все известные на сегодняшний день КСВ в Москве, во-вторых, районирование по условиям развития древнего карста на самом высоком таксономическом уровне уже позволило произвести общую оценку территории по КСО, учитывая, что первостепенным процессом был карст. Подобный подход к районированию позволил выделить в пределах территории исследований два таксономических уровня — области и районы [9]. Участки выделены лишь в пределах опасных районов для аппроксимации различных по сложности условий, которые важны при проектировании особо ответственных строительных объектов (см. рис. 2, б).

Выявленными при анализе оценок КСО упущениями и погрешностями и объясняются серьезные отличия построенных карт районирования (см. рис. 2), особенно при выделении опасных участков возможного развития КСП. В связи с вышеперечисленным при специальном типологическом инженерно-геологическом районировании по степени опасности карстово-суффозионных процессов необходимо учитывать основные критериальные признаки, на основании которых и выделяются районы по степени опасности. Характеристику районов следует проводить по особенностям закарстованности карбонатных пород, значениям градиента вертикальной фильтрации. На карте важно отражать результаты обследования технического состояния зданий и сооружений, что может вовремя указать на начало развития КСП. В соответствии с этим были выделены следующие районы:

1. **Опасные** — суммарная мощность юрских и верхнекаменноугольных глин от первых см до 5 м (при обязательном наличии глин).

Территория характеризуется высокими градиентами вертикальной фильтрации (более 3), сильной степенью закарстованности карбонатных пород, часто с наличием открытых карстовых полостей.

Строительство зданий и сооружений на таких территориях не рекомендуется. Для зданий и сооружений существующей застройки необходимо проведение режим-

ных высокоточных геодезических наблюдений, а на участках аномально высоких скоростей оседания поверхности — оборудование несущих конструкций специальными деформационными датчиками, выведенными на пульт наблюдения и контроля окружного значения. Для этих участков необходимо предусмотреть режимные наблюдения за уровнями подземных вод с интервалами не менее трех раз в месяц. На участках активизации КСП необходимо проведение комплекса противокарстовых мероприятий с учетом конкретных инженерно-геологических условий и конструктивных особенностей зданий.

2. **Потенциально опасные** — поверхностные КСВ отсутствуют, суммарная мощность юрских и верхнекаменноугольных глин 5–12 м.

Территория характеризуется значениями градиента вертикальной фильтрации до 5. Также отмечается сильная трещиноватость карбонатного массива.

При проектировании обязательно проведение детальных инженерно-геологических изысканий под каждое здание с бурением по закарстованному массиву до 20 м. Строительство рекомендуется только с применением противокарстовых защитных мероприятий. В зоне существующей застройки необходимо проведение режимных высокоточных геодезических наблюдений на участках наличия древних карстовых воронок провального типа и выявленных участках аномально высоких скоростей оседания земной поверхности.

Потенциально-опасные районы, по сути, являются данью нашего незнания. После проведения инженерно-геологических изысканий в идеале изученный участок должен быть отнесен либо к опасному, либо к неопасному.

3. **Неопасные** — поверхностные КСВ отсутствуют, суммарная мощность юрских и верхнекаменноугольных глин более 12 м.

Территория характеризуется градиентами вертикальной фильтрации менее 3, невысокой степенью закарстованности и трещиноватости карбонатного массива. Достаточны стандартные инженерно-геологические изыскания для гражданского строительства.

Представленный подход к районированию и оценке карстово-суффозионной опасности изучаемых территорий, на наш взгляд, позволит провести максимально достоверную оценку опасности территории г. Москвы по возможности развития КСП. Необходимо охватить всю область северо-запада города исследованиями для целей районирования территории. Остальные районы можно считать неопасными по возможности развития КСП (оценка территории Новой Москвы по опасности карстовых провалов или КСП проводится по другим критериям). Это даст возможность уточнить «Инструкцию...»³ и освободит инженер-геологов от производства ненужных расчетов диаметров провальных воронок. Такие расчеты не отвечают механизму КСП и приводят к необъективным результатам оценки опасности территории при производстве инженерно-геологических изысканий.

Заключение

На основании проведенного анализа можно рекомендовать следующее:

1. Необходимо выполнение инженерно-геологического типологического районирования всей северо-западной части г. Москвы по степени карстово-суффозионной опасности, учитывая глубокий всесторон-

- ний анализ конкретных условий развития карстово-суффозионных воронок.
2. При разработке СП на проведение инженерных изысканий на закарстованных территориях рекомендуется применить подход, базирующийся на региональных особенностях развития карста и связанных с ним процессов деформации грунтовых толщ.
 3. Показана настоятельная необходимость подготовки нормативно-методической базы на основе существующей «Инструкции по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов», с уточнением ее на основании новых данных об условиях образования карстово-суффозионных воронок, в частности, обоснования и выбора критерия/ев оценки опасности карстово-суффозионных процессов для формализации их с целью более удобного использования инженер-геологами.
 4. Предлагается исключить из требований СП необходимость обязательного проведения расчетов диаметра карстового провала, поскольку на сегодняшний день не существует соответствующих адаптированных прогностических решений, верифицированных применительно к условиям г. Москвы.
 5. Показана целесообразность объединения усилий профильных специалистов в создании математического аппарата для расчетов возможных диаметров карстово-суффозионных воронок для оценки их опасности. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникеев А.В., 2002. О причинах провалов и локальных оседаний земной поверхности в Москве. Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, № 4, с. 363–371.
2. Аникеев А.В., 2006. Суффозия. Механизм и кинематика свободной суффозии Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, № 6, с. 544–553.
3. Аникеев А.В., 2008. Изучение карстово-суффозионных провалов на моделях из термопластических материалов. Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, № 4, с. 1–17.
4. Аникеев А.В., 2017. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. РУДН, Москва
5. Аникеев А.В., 2017. Методика оценки карстово-суффозионной опасности и риска в Москве. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Москва.
6. Карта опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов. Масштаб 1:10 000, 2012. ГУП «Мосгоргеотрест», ИГЭ РАН, Москва.
7. Кочев А.Д., 2017. Проблема оценки карстово-суффозионной опасности на территории г. Москвы. Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг, Материалы первой научно-практической конференции, Москва, 2017, с. 31–43.
8. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л., 1989. Методика и результаты комплексного изучения карстово-суффозионных процессов в г. Москве. Инженерная геология, № 6, с. 77–94.
9. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л., 2017. К вопросу инженерно-геологического районирования территории северо-запада г. Москвы по степени опасности развития карстово-суффозионных процессов. Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения, Материалы научно-практической конференции, Москва, 2017, с. 24–40.
10. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н., 1989. Устойчивость закарстованных территорий. Наука, Москва.
11. Медведев О.П., Ильинская Н.М., 1979. Один из принципов инженерно-геологического районирования карстоопасных территорий. В сб. Инженерные изыскания в строительстве, Серия 16, Вып. 5, с. 8–10.
12. Парфенов С.И., Кутателадзе И.Ф., 1976. О поверхностных проявлениях карста в Москве. В кн. под ред. В.И. Савченко, Вопросы изучения режима подземных вод и инженерно-геологических процессов, Вып. 108. Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии, Москва, с. 70–73.
13. Протодьяконов М.М., 1933. Давление горных пород на рудничное крепление. Давление горных пород. 3-е изд. Часть 1. Госгориздат, Москва.
14. Толмачев В.В., Карпов Е.Г., Хоменко В.П., Мартин В.И., Давыдько Р.Б., 1982. Механизм деформаций горных пород над подземными карстовыми формами. Инженерная геология, № 4, с. 46–59.
15. Хоменко В.П., 1986. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. Наука, Москва.
16. Хоменко В.П., 2012. Нормативная оценка карстовой опасности: кризисная ситуация. Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях, Материалы Российской конференции с международным участием, Уфа, 2012, с. 240–245.
17. Хоменко В.П., 2015. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах, Материалы Международного симпозиума, Москва, 2015, с. 50–60.
18. Шахунянц Г.М., 1953. Земляное полотно железных дорог. Вопросы проектирования и расчета. Трансжелдориздат, Москва.
19. Kochev A.D., Kopytin P.L., Kochev N.A., 2018. Karst suffusion processes in Moscow city and the problem of evaluating their hazard. Expekt the Unexpekt, Proceedings of International Symposium KARST 2018, Trebinje, 2018, pp. 173–178.

REFERENCES

1. Anikeev A.V., 2002. On the causes of sinkholes and local subsidence of the earth's surface in Moscow. Environmental Geoscience, No. 4, pp. 363–371. (in Russian)
2. Anikeev A.V., 2006. Suffosion. Mechanism and kinematics of free suffusion. Environmental Geoscience, No. 6, pp. 544–553.
3. Anikeev A.V., 2008. The study of karst-suffusion sinkholes on models of thermoplastic materials. Environmental Geoscience, No. 4, pp. 1–17. (in Russian)
4. Anikeev A.V., 2017. Sinkholes in the karst areas: formation mechanisms, forecast and risk assessment. RUDN, Moscow. (in Russian)
5. Anikeev A.V., 2017. Methodology for the assessment of karst-suffusion hazard and risk in Moscow. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Moscow. (in Russian)
6. Hazard map of ancient karst forms and modern karst-suffusion processes. Scale 1:10 000, 2012. State Unitary Enterprise “Mosgorgeotrest”, Institute of Environmental Geoscience of RAS, Moscow. (in Russian)
7. Kochev A.D., 2017. The problem of assessing karst-suffusion hazard in the territory of Moscow. Study of hazardous natural processes and geotechnical monitoring, Materials of the first scientific-practical conference and exhibition, Moscow, 2017, pp. 31–43. (in Russian)
8. Kochev A.D., Chertkov L.G., Zayonts I.L., 1989. Methodology and results of a comprehensive study of karst-suffusion processes in Moscow. Engineering Geology, No. 6, pp. 77–94. (in Russian)
9. Kochev A.D., Chertkov L.G., Zayonts I.L., 2017. On the question of engineering-geological zoning of the territory of the north-west of Moscow according to the degree of karst-suffusion hazard. Engineering-geological problems of the present and methods for their solution, Materials of the scientific-practical conference, Moscow, 2017, pp. 24–40. (in Russian)
10. Kutepov V.M., Kozhevnikova V.N., 1989. Stability of karst territories. Science, Moscow. (in Russian)
11. Medvedev O.P., Ilinskaya N.M., 1979. One of the principles of engineering-geological zoning of the karst hazardous territories. In collection of papers Engineering surveys in construction, Series 16, Vol. 5, pp. 8–10. (in Russian)
12. Parfenov S.I., Kutateladze I.F., 1976. On the surface manifestations of karst in Moscow. In the book V.I. Savchenko (ed.), Issues of studying the regime of groundwater and engineering-geological processes, Vol. 108. Proceedings of the Institute of Hydrogeology and Engineering-Geology, Moscow, pp. 70–73. (in Russian)
13. Protodyakonov M.M., 1933. The pressure of rocks on the mine mount. Rock pressure. 3rd ed. Part 1. Gosgorizdat, Moscow. (in Russian)
14. Tolmachev V.V., Karpov E.G., Khomenko V.P., Martin V.I., Davydko R.B., 1982. The mechanism of deformation of rocks above underground karst forms. Engineering Geology, No. 4, pp. 46 – 59. (in Russian)
15. Khomenko V.P., 1986. Karst-suffusion processes and their prognosis. Science, Moscow. (in Russian)
16. Khomenko V.P., 2012. Regulatory assessment of karst danger: a crisis situation. Geotechnical problems of designing buildings and structures in karst hazardous territories, Materials of the Russian conference with international participation, Ufa, 2012, pp. 240–245. (in Russian)
17. Khomenko V.P., 2015. Karst sinkhole formation: mechanism and hazard assessment. Environmental safety and construction in karst areas, Materials of the International Symposium, Moscow, 2015, pp. 50–60. (in Russian)
18. Shakhunyants G.M., 1953. The roadbed of railways. Design and calculation issues. Transzheldorizdat, Moscow.
19. Kochev A.D., Kopytin P.L., Kochev N.A., 2018. Karst suffusion processes in Moscow city and the problem of evaluating their hazard. Expekt the Unexpekt, Proceedings of Intenational Symposium KARST 2018, Trebinje, 2018, pp. 173–178.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОЧЕВ АНДРЕЙ ДАВИДОВИЧ

Директор по науке – главный геолог ООО
«Транспроектинжиниринг», к.г.-м.н., г. Москва, Россия

ЧЕРТКОВ ЛЕОНИД ГРИГОРЬЕВИЧ

Главный гидрогеолог Центра мониторинга состояния
недр ФГБУ «Гидроспецгеология», к.г.-м.н., г. Москва,
Россия

ЗАЙОНЦ ИГОРЬ ЛАЗАРЕВИЧ

ФГБУ «Гидроспецгеология», к.г.-м.н, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ANDREI D. KOCHEV

Director of Science – chief geologist of “Transprojectengineering” LLC, PhD
(Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

LEONID G. CHERTKOV

Chief hydrogeologist of the Subsoil Monitoring Center, FSBE “Hydrospezgeologiya”,
PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

IGOR L. ZAYONTS

FSBE “Hydrospezgeologiya”, PhD (Candidate of Science in Geology and
Mineralogy), Moscow, Russia



ООО «ИГИИС»

**Институт геотехники и инженерных
изысканий в строительстве**

**предлагает услуги по выполнению следующих работ
в составе инженерных изысканий:**

- 1) изучение опасных инженерно-геологических процессов;**
- 2) геофизические исследования;**
- 3) геокриологические исследования;**
- 4) геотехнический мониторинг;**
- 5) инженерная сейсмология;**
- 6) разработка тематических карт;**
- 7) лабораторные исследования грунтов.**

107076, г. Москва, ул. Электrozаводская, д. 60.

Телефон: +7 (495) 366-31-89, факс: +7 (495) 366-31-90.

E-mail: mail@igiis.ru



Датчики уровня подземных вод и пьезометры



Термометрические косы



Деформационные марки

Датчики, установленные на зданиях и сооружениях, могут позволить определять характеристики напряженно-деформированного состояния, отклонение от вертикали и горизонтали, параметры вибрации. Современные системы геотехнического мониторинга представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы. Заказчики имеют возможность заказать как отдельные компоненты системы мониторинга, такие как различные датчики и подсистемы передачи данных, так и полностью систему мониторинга «под ключ». Различные компоненты систем мониторинга производятся в США, Швейцарии, Японии, Кореи и Китае. Все поставляемое оборудование имеет гарантии производителя и рассчитано на длительный срок эксплуатации.



Датчики грунтового давления



Оборудование для считывания данных



Пластиковые трубы для инклинометрии



Сейсмодатчики



Уровнемеры



Переносные измерители деформации