

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ГЕОЛОГИЯ В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ МИРЕ

Сборник научных трудов  
по материалам XVI Международной  
научно-практической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых

Пермь, ПГНИУ, 13–14 апреля 2023 г.



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ГЕОЛОГИЯ В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ МИРЕ

*Сборник научных трудов по материалам  
XVI Международной научно-практической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых*

Пермь, ПГНИУ, 13–14 апреля 2023 г.



Пермь 2023

УДК 550.8+622(234.852)

ББК 26.3

Г36

**Геология** в развивающемся мире [Электронный ресурс] : сборник Г36 научных трудов по материалам XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь, ПГНИУ, 13–14 апреля 2023 г.) / отв. ред. Н. В. Кулакова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – 29,3 Мб ; 479 с. – Режим доступа: [http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geolog\\_v\\_razv\\_mire\\_2023.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geolog_v_razv_mire_2023.pdf). – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-4010-2

В сборнике содержатся статьи студентов, аспирантов, молодых ученых (кандидатов наук) – участников XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире», проводимой на геологическом факультете Пермского государственного национального исследовательского университета.

Рассматриваются проблемы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; минералогии, геохимии и петрографии; палеонтологии, стратиграфии и региональной геологии; геофизики; геологии нефти и газа; инженерной геологии и гидрогеологии; геоэкологии и охраны окружающей среды; геоинформационных систем в геологии.

Издание адресовано инженерам-геологам, гидрогеологам, геофизикам, минералогам, палеонтологам, нефтяникам и геологам широкого профиля.

УДК 550.8+622(234.852)

ББК 26.3

*Издается по решению ученого совета геологического факультета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Редакционная коллегия:

д. г.-м. н. П. А. Красильников, д. г.-м. н. Е. А. Меньшикова,

к. г.-м. н. Е. Е. Кожевникова, Н. В. Кулакова

Ответственный редактор *Н. В. Кулакова*

*Рецензенты:* научный сотрудник Кунгурской лаборатории-стационара Горного института УрО РАН, канд. геол.-мин. наук **А. С. Казанцева**

старший научный работник Горного института УрО РАН, канд. геол.-мин. наук, доцент **И. Ю. Герасимова**

ISBN 978-5-7944-4010-2

© ПГНИУ, 2023

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ ЗАЩИТНОЙ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ ТОЛЩИ НА АКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ КАРСТА

*Новикова Анастасия Александровна*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
магистрант 2 курса, г. Пермь  
e-mail: novikovanastas@gmail.com*

*Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент, Ковалёва Татьяна Геннадьевна*

**Аннотация:** Активность развития карста зависит от многих факторов, в том числе от характера и мощности перекрывающих отложений, литологического типа карста, трещиноватости карстового массива и многих других. Во избежание возникновения аварийных и катастрофических ситуаций при строительстве в карстоопасных районах необходима комплексная оценка карстовой опасности. В статье рассмотрено влияние одного из факторов развития карстовых деформаций – мощности защитной перекрывающей толщи как одного из ключевых показателей, от которого напрямую зависит возможность и механизм образования провалов на поверхности земли.

**Ключевые слова:** перекрывающие глинистые отложения, оценка карстоопасности, провалообразование, региональные особенности развития карста.

## EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE THICKNESS OF THE PROTECTIVE OVERLAPPING SEQUENCE ON THE ACTIVITY OF KARST DEVELOPMENT

*Anastasia Novikova,*

*Perm State University, 2<sup>st</sup> year Master's Degree Student, Perm City,  
e-mail: novikovanastas@gmail.com*

*Research Supervisor: Candidate of Geology and Mineralogy, Reader, Tatiana Kovaleva*

**Abstract:** The activity of karst development depends on many factors, including the nature and thickness of the overlying deposits, the lithological type of karst, the fractures of the karst massif, and many others. In order to avoid the occurrence of emergency and catastrophic situations during construction in karst-prone areas, a comprehensive assessment of karst hazard is necessary. The article considers the influence of one of the factors in the development of karst deformations – the thickness of the protective overlying stratum as one of the key indicators, on which the possibility and mechanism of the formation of dips on the earth's surface directly depends.

**Keywords:** covering clay deposits, assessment of karst hazard, sinkhole formation, regional features of karst development.

Карст – опасный экзогенный геологический процесс, имеющий широкое распространение на территории Российской Федерации. Строительство зданий и сооружений на закарстованных территориях так или иначе несет в себе определенные риски, которые можно минимизировать либо выбором более оптимальных участков размещения объектов, либо применением специальных противокарстовых мероприятий. Считается, что применение противокарстовых мероприятий можно минимизировать при наличии мощной защитной толщи перекрывающих отложений, в частности, глинистой. Так, например, в п. 4.8.6 «Инструкции по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве» [2] указано, что «неопасные районы характеризуются отсутствием проявления карста на поверхности земли, наличием водоупоров из юрских и каменноугольных глин, толщиной, как правило, более 10 м и отсутствием нарушенного режима подземных вод». Однако возникает вопрос, откуда взято значение 10 м, действительно ли от этого значения перекрывающая толща обретает защитный характер, и что насчет остальных регионов России? В действующей нормативной документации для проектирования нет какого-либо упоминания, какая должна быть мощность у перекрывающих отложений, чтобы считать их защитными. Такое упоминание есть только в СП 11-105-97 ч.2 [4], а данным нормативным документом при проектировании зданий и сооружений руководствуются далеко не всегда, так как он предназначен для изысканий. Основным при проектировании является

СП 22.13330.2016 [5], где оценка карстоопасности дается только лишь по наличию подземных и поверхностных карстовых форм в определенном радиусе.

Для оценки влияния мощности защитной покровной глинистой толщи на активность развития карста выбраны три опорных участка на территории г. Москва, Владимирской области и Пермского края. Выбор опорных участков обусловлен несколькими причинами: во-первых, на выбранных опорных участках широко развиты как карстующиеся отложения, так и мощные толщи разновозрастных глинистых отложений (более 10 м), во-вторых, согласно региональным данным [3], выбранные опорные участки относятся к карстоопасным, и, в-третьих, данные территории активно развиваются и застраиваются новыми сооружениями, в связи с чем повышается риск возникновения аварийных и катастрофических ситуаций.

Перед моделированием различных сценариев развития провала на территории опорных участков с целью выявления зависимости активности развития карста от мощности перекрывающих отложений, выбранная методика расчета по А.В. Аникееву [1] была опробована и сравнена с реально существующими провалами на территории опорных участков. Результаты предварительных вычислений имели высокую сходимость с диаметрами реально существующих провалов (табл. 1), следовательно, данную методику расчета допустимо применять для моделирования различных сценариев.

Таблица 1

Сравнительная таблица расчетных диаметров карстовых провалов с существующими на опорных участках

№ опорного участка	Диаметр существующих молодых воронок, м	Расчетный диаметр карстового провала, м
Опорный участок №1	отсутствуют	не прогнозируется
Опорный участок №2	18,9	22,6
Опорный участок №3	6,9	9,3

Для выявления зависимости расчетного диаметра карстовых деформаций от мощности глинистых отложений и их свойств была использована идеализированная модель образования провала, а не реальные разрезы скважин на опорных участках. Главное отличие модели от реальных скважин заключается в том, что в реальных скважинах вскрыты несколько слоев различных грунтов, следовательно, реальная модель практически всегда получается многослойная, что соответствует природному залеганию.

Основным оцениваемым параметром рассмотрен показатель критического диаметра полости для обрушения связных грунтов. Это связано с тем, что в используемой методике расчета, значительное влияние на конечный результат оказывает суммарная ширина раскрытия трещин, которая, в свою очередь, напрямую зависит от мощности связного грунта. Суммарная ширина раскрытия трещин – общий объём трещин и пустот в толще глинистых отложений, развивающихся преимущественно в грунтах твёрдой и полутвёрдой консистенции. Принимая во внимание этот факт, становится очевидным, что полученный в результате расчета провал на поверхности земли в однослойной идеализированной модели не совсем корректен в некоторых случаях. Однако, мы рассмотрим провал на поверхности земли, как диаметр трубообразного канала-полости, так как в однослойной идеализированной модели эти показатели равны. Поэтому оценка критического диаметра, который характеризует грунт именно как защитную толщу, способную выдержать напряжение вышележащих над полостью в карстующихся породах грунтов и не допустить их обрушения в формирующуюся полость, будет более надежной основой для получения каких-либо выводов.

Главным условием для рассмотрения влияния мощности перекрывающих отложений принято преодоление отметки в 10 м. Исходя из этого, в расчетных моделях использованы слои с мощностями в 3,0, 6,0, 9,0 и 12,0 м. Физико-механические свойства глин использованы те, что были получены в результате карстологических исследований на опорных участках (табл. 2).

Физико-механические свойства разновозрастных глин с опорных участков

Наименование грунта	Плотность грунта $\rho$ г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$ д.е.	Число пластичности $I_p$ %	Показатель текучести $I_L$ д.е.	Коэффициент водонасыщения $S_r$ д.е.	Модуль деформации $E$ МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$ д.е.	Угол внутреннего трения $\varphi$ °	Удельное сцепление $c$ кПа
Опорный участок №1									
Глина твердая ( $J_{30+km}$ )	1,79	1,069	36,8	-0,040	0,930	30	0,40	17	97
Опорный участок №2									
Глина полутвердая ( $P_{2ur}$ )	2,01	0,695	22,9	0,125	0,890	38	0,40	20	54
Опорный участок №3									
Глина тугопластичная ( $P_1$ )	1,90	0,795	18,9	0,340	0,920	14	0,40	15	40

В расчетную модель были взяты свойства глин с опорных участков, залегающих непосредственно над карстующимися отложениями.

Исходя из требований СП 499.1325800.2021 [6] ширина полости, при условии отсутствия вскрытых полостей в скважине, в расчете должна приниматься равной 1,5 м. Согласно исследованиям Щербакова С.В. и Катаева В.Н. [7], между высотой и диаметром подземной полости наблюдается прямая корреляционная связь, выраженная в формуле (1):

$$z = 0,3107d_0 \quad (1)$$

где  $z$  – высота подземной полости,  $d_0$  – начальный диаметр полости.

Исходя из этого, высота подземной полости принята равной 0,5 м.

Важным фактором, влияющим на результат расчета, является глубина установления трещинно-карстовых вод. В данном исследовании она была принята равной глубине вскрытия карстующихся отложений, во избежание влияния на конечный результат.

В качестве карстующейся толщи выбраны известняки со средней скоростью растворения 0,005 см/год для труднорастворимых пород согласно таблице 6.15 СП 22.13330.2016. Мощность карстующейся толщи принята равной 10 м.

Результат расчетов приведен в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета критического диаметра полости и диаметра канала-полости на опорных участках

Наименование грунта	Критический диаметр полости/диаметр полости-канала при мощности глин			
	3,0 м	6,0 м	9,0 м	12,0 м
Глина твердая ( $J_{30+km}$ )	24,0/нет	25,0/0,1	26,0/0,1	27,0/0,3
Глина твердая ( $P_{2ur}$ )	10,7/0,1	11,7/0,4	12,8/0,8	13,9/1,5
Глина тугопластичная ( $P_1$ )	6,6/0,2	7,6/0,8	8,5/1,7	9,5/3,1

Более наглядно результаты расчетов выражены на графике (рис.).

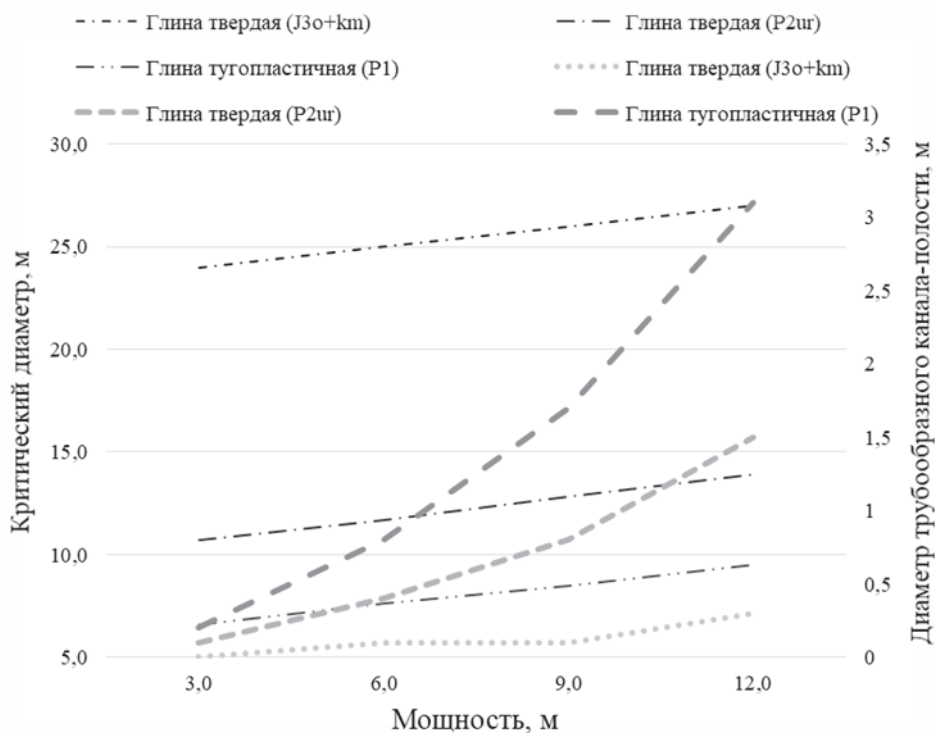


Рис. Зависимость диаметра трубообразного канала-полости и критического диаметра от мощности глин

На графике наблюдается прямая зависимость критического диаметра от мощности глин, причем, наибольшая разница между значениями критического диаметра 12-метровой и 3-метровой толщи выявлена в уржумских глинах с опорного участка №2, наименьшая – в нижнепермских глинах с опорного участка №3. Обращая внимание на таблицу 2, где представлены используемые в расчетах свойства глин, можно сделать предположение, что амплитуда зависит от угла внутреннего трения. Помимо этого, на графике отчетливо виден значительный разрыв между полученными значениями критических диаметров слоев покровных юрских глин и пермских. Это связано с величиной удельного сцепления – в юрских глинах она значительно выше, чем в пермских, ввиду отсутствия прослоев и включений, так как их наличие значительно влияет на плотность упаковки грунта, его пористость и влажность.

С точки зрения возможности образования в толще карстующихся грунтов полостей критических размеров, т.е. превышающих критические диаметры и приводящих к образованию провалов на поверхности земли, очевидно, что в условиях опорного участка №1 практически невозможно образование полостей диаметром от 24,0 до 27,0 м. Многочисленные исследования показывают, что в карбонатных породах, как правило, образуются полости сравнительно небольших размеров, нередко сразу заполняются песчаным или глинистым материалом. Для карбонатного карста более характерно медленное в геологическом масштабе времени развитие полостей, в отличие от сравнимого со сроком службы сооружений времени развития подземных карстопоявлений в условиях сульфатного карста. В условиях опорных участков №2 и №3 образование полостей критического размера представляется более возможным, даже для 12-метровой толщи, так как эти опорные участки расположены на территориях распространения карбонатно-сульфатного карста, для которого характерно образование полостей размеров, достаточным для обрушения вышележащей защитной толщи, а также ввиду наличия прослоев в глинистых грунтах, допускающих просачивание атмосферных осадков.

Не менее важны результаты вычисления диаметра трубообразного канала-полости. Из графика и таблицы следует, что наименьшее влияние на диаметр канала-полости оказывает изменение мощности юрских глин с опорного участка №1, наибольшее влияние мощности наблюдается в нижнепермских глинах с опорного участка №3. Необходимо также отметить, что по достижении мощности 12 м, наблюдается резкое увеличение диаметра трубообразного канала-полости на всех опорных участках.

Необходимо учитывать, что рассмотренную идеализированную модель в естественных условиях встретить практически невозможно. Зачастую на покровные коренные глинистые отложения



перекрыты более молодыми образованиями, которые добавляют нагрузку на нижележащие отложения и, следовательно, критический диаметр для обрушения грунтов в полость становится меньше. Помимо этого, на критический диаметр существенное влияние оказывает внешняя нагрузка от наземных и подземных сооружений, что повышает вероятность образования провала на поверхности земли или под фундаментами.

Активность развития карста напрямую зависит от мощности перекрывающей защитной толщи, однако при прогнозировании карстоопасности только лишь от мощности отталкиваться нельзя. Помимо этого, необходимо учитывать также литологический тип карста, физико-механические свойства грунтов покровной толщи, глубину залегания подземных вод, возможность инфильтрации атмосферных осадков, трещиноватость карстующегося массива, наличие или отсутствие зданий и сооружений и многие другие факторы, которые напрямую или косвенно могут как улучшить, так и усугубить процесс провалообразования.

### *Литература*

1. Аникеев А.В. *Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска*. Москва, РУДН, 2017. 328 с.
2. *Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве*. М., Правительство Москвы, Мосархитектура, 2004.
2. *Карта карстовой опасности на территории России*. Институт геоэкологии РАН, 1993.
3. *Карта карстовой опасности на территории России*. Институт геоэкологии РАН, 1993.
4. СП 11-105-97 ч.II. *Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов*. Москва, Госстрой России, 2000.
1. 5.. СП 22.13330.2016. *Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\**. Москва, Минрегион России, 2016.
5. СП 499.1325800.2021. *Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карсто-во-суффозионных процессов. Правила проектирования*. М.: Минстрой России, 2021.
6. Щербаков С.В., Катаев В.Н. *К оценке морфометрических параметров карстовых форм // Инженерная геология*. № 1. Москва: ПНИИИС, 2013. С. 56-64.