

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 6(43)



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

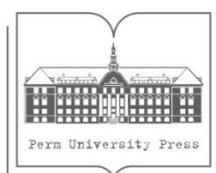
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 6(43)

*Под общей редакцией П. А. Красильникова*



Пермь 2023

УДК 550.8+622  
ББК 26.3  
Г36

**Геология** и полезные ископаемые Западного Урала [Электронный ресурс] : сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Красильникова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2023. – Вып. 6(43). – 27,5 Мб ; 322 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-43.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3999-1 (вып. 6(43))

Сборник содержит научные статьи по материалам 43 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения», состоявшейся 23–24 мая 2023 г. в Пермском государственном национальном исследовательском университете.

Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и других регионов России. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твердых полезных ископаемых нефти и газа, а также вопросов геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведения, инженерной геологии, экологической геологии.

Для геологов широкого профиля, нефтяников, геофизиков и других специалистов по исследованию недр Земли, добыче полезных ископаемых, экономистов, а также для студентов геологических направлений и специальностей вузов.

УДК 550.8+622  
ББК 26.3

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д. г.-м. н. П. А. Красильников (главный редактор),  
д. г.-м. н. И. С. Копылов (отв. редактор), Е. А. Меньшикова,  
Е. Е. Кожевникова, В. И. Костицын, О. Б. Наумова, В. В. Середин

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ

д. т. н., начальник отдела геофизических исследований ООО НИПППД «Недра»  
**А. В. Татаркин**  
д. т. н., директор по промысловой геофизике ПАО «Пермнефтегеофизика»  
**А. В. Шумилов**

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3999-1 (вып. 6(43))

© ПГНИУ, 2023

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА УДАЛЕННОСТИ ОТ ПОВЕРХНОСТНОГО КАРСТОПРОЯВЛЕНИЯ ПРИ КАРСТОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

В практике карстологического прогноза в последнее время метод удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста все чаще уходит на второй план. Однако, следуя логике методики удаленности от ближайшей поверхностной карстовой формы, карстовые полости должны тяготеть к поверхностным формам. Проведен анализ выявленной подземной закарстованности и местоположения поверхностных карстовых форм, а также радиусов удаленности различных размеров. В ходе анализа было установлено, что более половины встреченных карстовых полостей расположены в пределах буферов удаленности до 100 м, 90% из них вскрыты на удалении до 300 м, и только 10% расположены на большем расстоянии. Таким образом, метод удаленности показывает свою состоятельность и необходимость применения на практике.

**Ключевые слова:** карстовая воронка, карстовая полость, карстоопасность, карбонатно-сульфатный карст.

T.G. Kovaleva, V.Yu. Zhiltsova  
Perm State University, kovalevatg@mail.ru, lera.mics991@gmail.com

## ON THE QUESTION OF APPLICATION OF THE METHOD OF DISTANCE FROM SURFACE KARST IN THE CARSTOLOGICAL FORECAST

Recently, in the practice of karstological forecasting, the method of remoteness from the nearest surface manifestation of karst has increasingly faded into the background. However, following the logic of the method of remoteness from the nearest surface karst form, karst cavities should gravitate toward surface forms. An analysis was made of the identified underground karst formation and the location of surface karst forms, as well as the distance radii of various sizes. During the analysis, it was found that more than half of the encountered karst cavities are located within buffers up to 100 m away, 90% of them are uncovered at a distance of up to 300 m, and only 10% are located at a greater distance. Thus, the remoteness method shows its validity and the need for practical application.

**Key words:** karst collapse, karst cavity, kars hazard, carbonate-sulfate type of karst.

Практически все количественные методы карстологического прогноза в своей основе предполагают использование сведений о количестве и морфометрических характеристиках поверхностных карстопроявлений. В практике изысканий на закарстованных территориях степень опасности карста определяется величиной интенсивности образования карстовых провалов. Основной показатель – интенсивности провалообразования  $\lambda$  – среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенной к единице площади (среднегодовая плотность провалов, случай/км<sup>2</sup> в год). [7].

При проектировании конкретных сооружений значение интенсивности вследствие неравномерности провального процесса не может служить объективной

оценкой опасности карста. По И.А. Саваренскому и Н.А. Миронову [6] для достоверного определения данного показателя требуется достаточно большая продолжительность наблюдений за образованием провалов ( $t$ ) и достаточно большая площадь расчетного участка ( $S$ ). Если расчетный промежуток времени  $t$  не менее 20 лет и площадь  $S$  не менее  $5 \text{ км}^2$ , оценка устойчивости считается достоверной независимо от количества зарегистрированных за это время провалов. Кроме того, часто используемым для дифференцированной количественной оценки степени закарстованности территорий и прогноза их устойчивости относительно образования провалов является метод удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста. Необходимо отметить, что данный метод достаточно часто игнорируется и не учитывается при оценке карстоопасности, поскольку явного требования к его применению в рамках инженерно-геологических изысканий нормативные документы не содержат. Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий по методу удаленности основано на предположении, что частоты ожидаемых провалов в прогнозируемом периоде будут распределены по удаленности от ближайших проявлений карста так же, как и в расчетном интервале времени. Здесь рассмотрения требуют три возможных случая применения данной методики: 1) имеются достаточные для статистической обработки данные по удаленности возникающих провалов от ближайших проявлений карста; 2) данные о случаях провалов недостаточны, но имеется достаточное для статистической обработки количество данных по удаленности воронок от ближайших проявлений карста; 3) имеющиеся по изучаемой площадке данные о воронках и случаях провалов недостаточны для статистической обработки [2]. Разработал и применил этот метод прогнозирования устойчивости закарстованных территорий И.А. Саваренский [5] при исследованиях сильнозакарстованного участка площадью  $5 \text{ км}^2$ , прилегающего к восточной окраине г. Дзержинска [4].

Провал образуется вследствие выхода подземной карстовой полости на поверхность. Следуя логике методики удаленности карстовые полости должны тяготеть к поверхностным карстовым формам. В связи с чем, был проведен анализ выявленной подземной закарстованности и местоположения поверхностных карстовых форм, а также радиусов удаленности различных размеров. Для анализа был выбран интенсивно закарстованный участок в южной части Пермского края. Рассматриваемый участок относится к территории сульфатного и карбонатно-сульфатного карста согласно карте распространения карста на территории Российской Федерации (рис. Б.5 [8]).

Согласно карте карстоопасности Пермского края, выполненной в рамках отчета о научно-исследовательской работе «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области», 2010 г. ГОУВПО ПГУ рассматриваемая территория расположена на участках, характеризующихся от практически неопасной до опасной категории карстоопасности.

Участок приурочен к двум карстовым районам: иренскому и уфимскому согласно карте (схеме) карстующихся пород и карста Пермской области по К.А. Горбуновой, 1993 г. [1, 3].

Необходимо отметить, что исследуемая территория достаточно хорошо изучена инженерно-геологическим и карстологическим бурением. В геолого-литологическом строении до разведанной глубины 80 м принимают участие отложения четвертичной системы различного генезиса (Q), элювиальные отложения нижнего отдела пермской системы ( $eP_1$ ) и породы нижнего отдела пермской системы ( $P_1$ ). Карстующиеся отложения представлены известняками и доломитами (карбонатные породы), гипсами и ангидритами (сульфатные породы). Карбонатные породы вскрываются под толщей песчаников, суглинков и аргиллитов пермской системы, а также прослоями в толще сульфатных пород, кроме того, мощные толщи карбонатных отложений вскрываются, начиная с глубины 1,0 м. В кровле породы преимущественно сильнотрещиноватые, сильновыветрелые до состояния щебня. Сульфатные породы встречается реже, однако они играют главную роль в развитии карстовых процессов на рассматриваемой территории. Гипсы пониженной прочности, малопрочные и средней прочности вскрыты в верхней части карстового массива. Ангидриты залегают под гипсами, они преимущественно прочные, средне- и слаботрещиноватые. Глубина залегания кровли карстующихся пород составляет от 5-10 до 20-25 м.

По времени образования карст современный, так как проявляет себя на поверхности в виде новых провальных форм. Для территории характерно развитие карстовых форм рельефа, выраженных воронками, округлыми заболоченными понижениями, карстовыми останцами и озерами. Всего на исследуемой площади 388 км<sup>2</sup> было зафиксировано 2702 шт. поверхностных карстопроявления. Из выделенных карстовых форм 1850 шт. классифицированы как воронки, 840 шт. – понижения и 12 шт. – карстовые озера.

Диаметры воронок изменяются от 0,5 до 94,5 м, в среднем составляют 11,4 м; условная глубина – от 0,2 до 20,0 м (среднее значение – 1,8 м). В морфологическом отношении большинство воронок эллипсоидные в плане, в профиле воронки преимущественно чашеобразные. Морфометрические показатели понижений следующие: диаметр – от 2,0 до 130,0 м (среднее значение 18,1 м), условная глубина – от 0,2 до 11,0 м (среднее значение 1,2 м). В профиле понижения преимущественно блюдцеобразные, в плане преимущественно эллипсоидные. Морфометрические показатели карстовых озер следующие: диаметр – от 6,0 до 70,0 м (среднее значение 27,0 м), условная глубина – от 0,7 до 6,0 м (среднее значение 1,5 м). В профиле карстовые озера преимущественно блюдцеобразные, в плане преимущественно эллипсоидные. Площадная закарстованность рассматриваемой территории составляет 19,3 м<sup>2</sup>/км<sup>2</sup>, плотность карстовых форм – 229 шт./км<sup>2</sup>.

Глубинный карст, развитый в толще карстового массива, представлен незаполненными и заполненными карстовыми полостями различной формы и размеров. Помимо собственно карстовых полостей, широкое развитие в массиве пород также получили зоны дробления – участки карстового массива, в пределах которых материнские карстующиеся образования находятся в сильно нарушенном состоянии. Это участки рухлякового сложения пород, сильнотрещиноватые и сильновыветрелые зоны в разрезе скважин. По данным инженерно-геологического и карстологического бурения вскрыты 62 карстовых полостей и 136 зон.

Незаполненные карстовые полости характеризуются высотой от 0,1 до 6,8 м, со средней величиной 1,2 м. Преимущественно полости приурочены к толще карстующихся отложений (известняки, доломиты, гипсы, ангидриты), а также к контакту карстующихся и элливиальных грунтов и залегают на глубинах от 3,7 до 54,7 м.

Зоны дробления в своем пространственном развитии совпадают с ареалами развития полостей, являясь индикаторами их наличия. Все зоны дробления на площадке изысканий представлены сильновыветрелыми, малопрочными и очень низкой прочности с  $RQD < 25\%$ , сульфатными и карбонатными породами, а также породами, разрушенными до состояния суглинка (мука гипса и ангидрита), дресвы и щебня карбонатных и сульфатных пород. Порода в их пределах часто рухляковая, мучинистая. Мощность зон дробления варьируется от 0,2 до 27,8 м при среднем значении 3,8 м. Зоны дробления развиты в интервале глубин 0,2-79,0 м.

По поверхностным карстовым формам с учетом их морфометрических размеров были построены радиусы удаленности 20 м, 50 м и 100 м от карстовой формы. Затем был проведен анализ соотношения вскрытых скважинами карстовых полостей и радиусов удаленности (рис. 1).

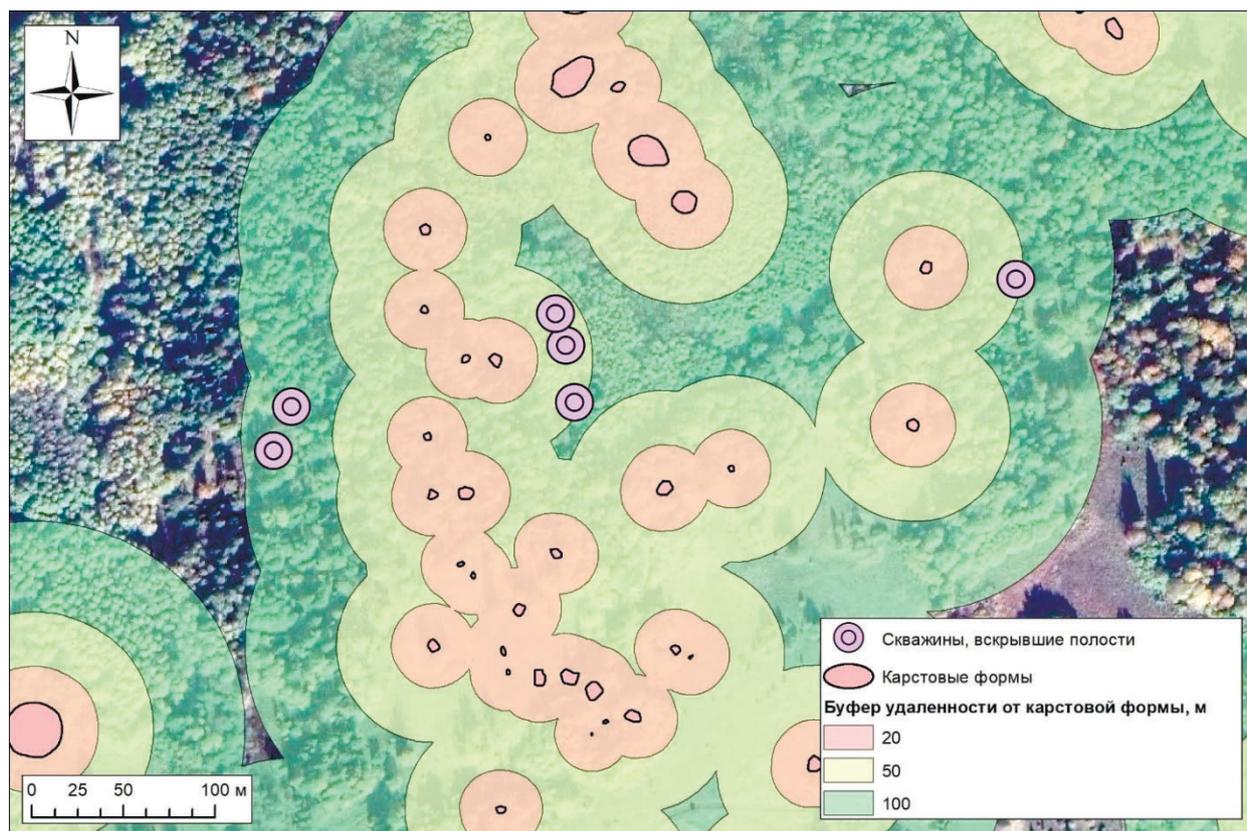


Рис. 1. Фрагмент карты радиусов удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста

В ходе анализа было установлено, что более половины встреченных карстовых полостей (66%) расположены в пределах буферов удаленности до 100 м (рис. 2). Причем при дальнейшем анализе расстояний вскрытых карстовых полостей до ближайшей карстовой формы установлено, что 90% из них вскрыты на удалении до 300 м, и только 10% расположены на большем удалении (рис. 3).

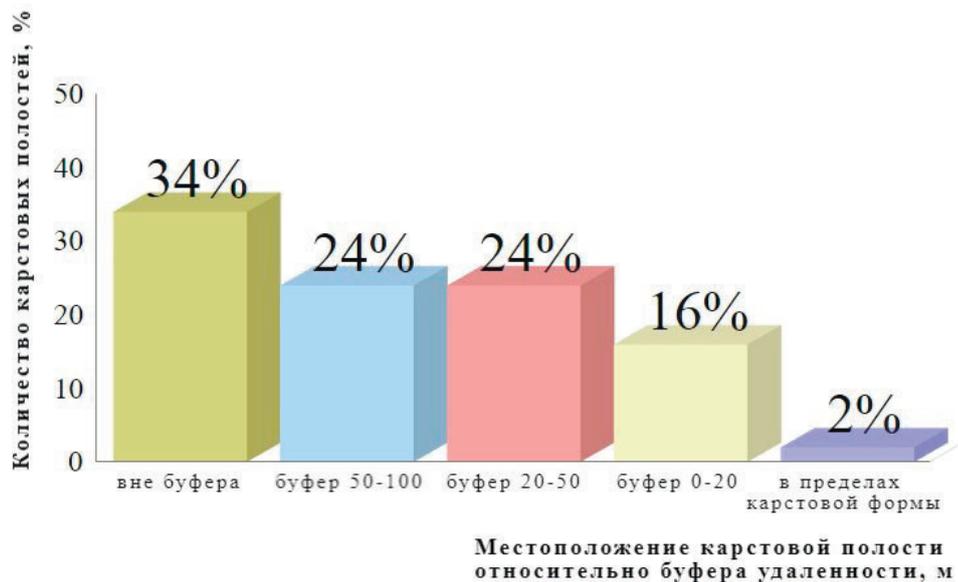


Рис. 2. Распределение карстовых полостей относительно буферов удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста

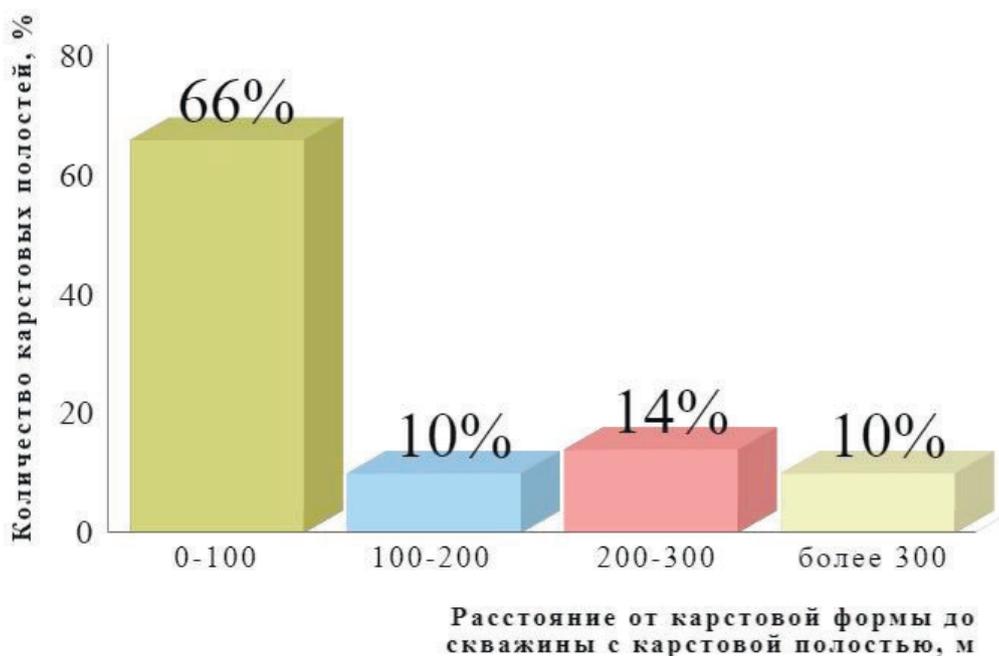


Рис. 3. Распределение карстовых полостей относительно буферов удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста

Как правило, вскрытие подземной карстовой формы инженерно-геологической или карстологической скважинами, или фиксация ее геофизикой являются достаточно редкими, случайными событиями, во многом зависящими от степени карстоопасности территории, глубины залегания карстующейся толщи, частоты бурения и прочих факторов. Чем интенсивнее закарстован массив, чем ближе к поверхности залегают карстующиеся породы, тем выше шансы обнаружения подземной полости. Однако методы бурения достаточно дорогостоящи и точечны, в связи с чем, направленный поиск полости в карстовом массиве – дело весьма авантюрное.

Проведенный анализ показал, что метод удаленности показывает хорошие результаты и обоснованность своего применения на практике, даже в случае ограниченности ресурсов для детального изучения. Участки, ограниченные буферами удаленности, являются более карстоопасными, подземные полости в их пределах встречаются существенно чаще, а, следовательно, и вероятность формирования нового провала в их пределах будет выше. В связи с вышесказанным, необходимо при оценке карстовой опасности большее внимание уделять методу удаленности от ближайшей поверхностной карстовой формы, акцентируя внимание на участках, которые попадают внутрь буферов для организации противокарстовых мероприятий, а также рассмотреть целесообразность расширения буфера удаленности до несколько большего расстояния (например, в 300 м), как участка, также требующего периодического наблюдения.

#### **Библиографический список**

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.
2. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. 2013. № 8 (часть 5). С. 1130-1135
3. Максимович Н.Г., Кадебская О.И., Мещерякова О.Ю. Сульфатный карст Пермского края. Пермь, 2021. 302 с.
4. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М. ПНИИС. 1995.
5. Саваренский И.А. Прогноз устойчивости территории методом удаленности от ближайшего проявления карста // Прогноз изменения инженерно-геологических условий при строительстве. Москва, 1990, С. 108-118.
6. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М., ПНИИС, 1995. 168 с.
7. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: ПНИИС. 2001.
8. СП115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий / Минстрой России. М., 2016.