

ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей
Выпуск 5(42)



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 5(42)

Под общей редакцией П. А. Красильникова



Пермь 2022

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, 2022. – Вып. 5(42). – 23,5 Мб ; 292 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-42.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3881-9 (вып. 5(42))

Сборник содержит научные статьи по докладам 42-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, состоявшейся 17 мая 2022 г. на геологическом факультете Пермского госуниверситета. Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и прилегающих территорий. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твёрдых полезных ископаемых, нефти и газа, а также вопросы 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 студентов геологических направлений и специальностей вузов.

УДК 550.8+622

ББК 26.3

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.г.-м.н. П. А. Красильников (гл. редактор), д.г.-м.н. Р. Г. Ибламинов,
д.г.-м.н. Т. В. Карасёва, д.г.-м.н. В. Н. Катаев, д.т.н. В. И. Костицын,
д.г.-м.н. О. Б. Наумова, д.г.-м.н. В.В. Середин

Рецензенты: руководитель сектора подготовки программы работ НИПППД «Недра», канд. геол.-мин. наук, доцент **Д. М. Димухаметов**;
ведущий научный сотрудник ВНИИ Галургии, канд. тех. наук
А. М. Пригара

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3881-9 (вып. 5(42))

© ПГНИУ, 2022

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И КАРСТ

**В.Н. Катаев¹, Д.Р. Золотарев^{1,2},
С.В. Щербаков^{1,2}, Е.В. Дробинина¹**

¹ПГНИУ, kataev@psu.ru

²ООО «Противокарстовая и береговая защита», Москва,
zolotarev.lpmg@mail.ru.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ И СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД

Статья посвящена вопросу оценки скорости растворения сульфатных и карбонатных пород. Продемонстрирован опыт растворения образцов карбонатных и сульфатных пород *in situ* в специально оборудованных гидрогеологических наблюдательных скважинах на протяжении 8 месяцев. С целью определения скорости растворения специально подготовленные опытные образцы ежемесячно извлекались для взвешивания, замеров линейных параметров и фотофиксации. В результате получены сведения о динамике изменения измеряемых величин и установлены прогнозные зависимости, практическая ценность которых заключается в возможности их использования в расчетах при определении размеров карстовых деформаций.

Ключевые слова: карст; скорость растворения пород; карбонатные и сульфатные породы.

**V.N. Kataev¹, D.R. Zolotarev^{1,2},
S.V. Shcherbakov^{1,2}, E.V. Drobinina¹**

¹Perm State University, kataev@psu.ru

²LLC «Karst-Control and Bank Protection», Moscow,
zolotarev.lpmg@mail.ru.

THE ESTIMATION OF THE SULFATE AND CARBONATE ROCKS DISSOLUTION RATE

The article is devoted to the estimation of the sulfate and carbonate rocks dissolution rate. The experience of carbonate and sulfate rock samples dissolution *in situ* in specially equipped hydrogeological observation wells during 8 months is demonstrated. The specially prepared experimental samples were extracted once a month for weighing, measuring linear parameters and photo fixation in order to determine the dissolution rate. As a result, the trend data of the measured values change were obtained and the forecast dependences were established. The practical value of the dependencies is the possibility of their use in the calculations of the karst deformation size.

Key words: karst; dissolution rate of rocks; carbonate and sulfate rocks.

Проектирование и строительство объектов на территориях, осложненных карстом, требует изучения этого процесса и применения при необходимости защитных мероприятий. Степень детальности изучения карста и количество исследуемых параметров возрастает при увеличении закарстованности

территории. В действующей нормативной документации, посвященной карстовой тематике (СП 11-105-97, СП 22.13330.2016, СП 499.1325800.2021), указана необходимость количественного прогноза, который выражается через такие параметры как интенсивность провалообразования, средние и расчетные диаметры карстовых провалов, критические размеры полостей и др. В работе [6] раскрыто влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм. При этом, для определения расчетного диаметра карстового провала в соответствии с действующими нормативными документами следует устанавливать начальный и критический диаметры полости. Последний невозможно оценить без определения скорости растворения карстующихся пород.

Исследования отечественных и зарубежных специалистов в области скорости растворения пород показывают значительную вариативность в зависимости от литологического состава, возраста и генезиса карстующихся пород. Так, А.Г. Лыкошиным приведены сведения о скоростях растворения карбонатных пород от долей миллиметра до 3 мм в год [4]. Напротив, согласно данным Д. Форда и П. Уильямса [5] скорость растворения карбонатов не превышает 0,01-0,03 мм в год. К.А. Горбунова для территории вблизи плотины Камской ГЭС приводит такие цифры роста трещин в известняках за временной промежуток в 100 лет [1]:

- ✓ по лабораторным данным (со ссылкой на Ф.Ф. Лаптева) – 3,4 см;
- ✓ за счет растворения речными водами – 5,0 см;
- ✓ за счет растворения речным потоком – 20 см;
- ✓ по скорости растворения известняков в основании плотины – до 50 см.

Такие различия у разных авторов связаны не только с вышеотмеченными факторами, но и с условиями проведения опытов.

Целью проведенного исследования являлось установление величин скорости растворения карбонатных и сульфатных пород пермской системы, развитых в Пермском Предуралье. Данные карстующиеся отложения широко представлены и в пределах Русской платформы.

Для проведения опытов были отобраны 20 образцов растворимых пород с различных глубинных интервалов в районе проектируемого мостового перехода через р. Каму в Полазненском районе преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста [2]. В административном отношении участок находится в Орджоникидзевском и Мотовилихинском районах г. Перми.

Краткая характеристика изучаемой территории

Естественный рельеф изыскиваемой территории речного морфогенеза сформирован глубинной, боковой регрессивной эрозией и аккумуляцией. Основным рельефообразующим элементом является р. Кама. Наблюдательные скважины приурочены к первой надпойменной террасе р. Камы.

По данным инженерно-геологического бурения на участке проектируемого мостового перехода встречено два постоянных водоносных горизонта – грунтовые воды в аллювиальных отложениях и трещинно-карстовые воды в карбонатных породах пермской системы – и подземные воды типа «верховодка», отличающиеся непостоянством контура распространения и режима.

Грунтовые воды аллювиального водоносного комплекса приурочены к разнозернистым пескам, в том числе залегающим в виде линз в глинистых грунтах. Воды преимущественно безнапорные, формирование местных напоров (0,5–8,8 м) характерно для участков, где пески перекрыты глинистыми грунтами, образующими верхний водоупор. Грунтовые воды характеризуются сульфатно-магниево-кальциевым составом с минерализацией, изменяющейся от 0,6 до 1,8 г/дм³ в течение года.

Пермский водоносный комплекс приурочен к карбонатно-терригенным отложениям и вскрыт на глубинах 13,2–27,1 м (абс. отм. от 71,3 до 62,5 м). Горизонт характеризуется напором от 13,2 до 29,9 м.

В ходе анализа топографических карт масштаба 1:25000, статических космоснимков земли Google, Yandex, Bing Maps и ArcGIS Imagery карстопроявлений не выявлено. В процессе выполнения инженерно-геологических изысканий рекогносцировочными маршрутами поверхностных форм, которых можно было бы отнести к проявлению карстово-суффозионных процессов (провалов, воронок) не зафиксировано.

Ближайшие карстовые формы согласно топографическим картам и спутниковым изображениям расположены примерно в 9 км к северу от проектируемого мостового перехода, в районе д. Пальники (Чусовская Стрелка, Чусовской Мыс) на правом берегу и севернее д. Заозерье на левом берегу. Следует отметить, что это связано с тем, что уже в 5-6 км к северу от створа проектируемого мостового перехода наблюдается довольно значительное изменение инженерно-геологических условий, обусловленное поднятием геологических слоев на юго-восточном крыле Краснокамско-Полазненского вала.

Согласно описанию имеющихся архивных скважин на данной территории карстовые полости не вскрыты. Однако К.А. Горбуновой при описании карстового участка Чусовского мыса отмечено, что в 1949 г. под руслом р. Чусовой скважинами были вскрыты карстовые полости вертикальной мощностью до 8 м [2].

Методика работ

Из отобранных проб грунтов вырезаны образцы кубической формы размерами от 2х2х2 до 3х3х3 см для использования в эксперименте. Для каждого образца установлены физико-механические характеристики, определен химический состав микронзондовым методом, произведено микроскопическое описание. Для 6 образцов выполнены электротомографические исследования. Все образцы взвешивались и укладывались в перфорированные бюксы, соединенные в цепочку-гирлянду, после чего помещались в специально оборудованные гидрогеологические скважины, пройденные на первой левобережной террасе р. Камы на удалении 200 м от русла и вскрывшие четвертичный аллювиальный водоносный горизонт на глубине 4-8 м (рис. 1). Погружение опытных образцов в четвертичный водоносный горизонт произведено с целью оценки скорости растворения в условиях максимально благоприятных для интенсификации процесса растворения пресными водами.

С периодичностью один раз в месяц на протяжении восьми месяцев образцы извлекались для взвешивания, замеров линейных параметров и фотофиксации (рис. 2). Замеры выполнялись электронным микрометром и электронными весами высокой точности. Путем деления масс образцов на их объем на каждом этапе проведения опыта определялась их плотность. Уже в ходе проведения испытаний было отмечено, что все образцы показывают примерно подобную динамику изменения замеряемых параметров от месяца к месяцу. Иными словами, изменение объема и массы для каждого куба на каждой итерации проведения опытов было примерно одинаковым, несмотря на сезонность года и изменения в режиме фильтрации грунтовых вод и их химическом составе.



Рис. 1. Схема расположения изучаемой территории и наблюдательных скважин



Рис. 2. Проведение полевых исследований скорости растворения карбонатных пород в районе г. Перми

Итоговые изменения объема, линейных параметров, массы и плотности всех образцов нормализованы путем деления на исходные значения этих величин на момент старта проведения опытов и выражены в процентной форме. В результате данной процедуры установлена линейная взаимосвязь между потерей массы, плотности и изменением объема образцов. Следует отметить, что в статистической обработке одновременно участвовали все образцы независимо от разновидности и состава породы.

Полученные зависимости могут быть использованы в практических целях. Например, из высокой корреляции между потерей объема и массы следует, что при полевых или лабораторных экспериментах по определению скорости растворения карстующихся пород можно ограничиваться только замером изменения массы образцов, при этом форма самих образцов может быть произвольной. Так, из изменения объема кубов можно вывести формулу по определению среднегодовой линейной (по одному из трех направлений) скорости их растворения:

$$v = (\sqrt[3]{V_0} - \sqrt[3]{V_1})/t$$

где v – линейная скорость растворения куба, см/год; V_0 – объем куба до начала проведения опытов, см³; V_1 – объем куба на момент завершения опытов, см³; t – период проведения опытов.

С применением аналогичной формулы по отношению к изменению массы кубов за время проведения испытаний, экстраполированной на годовой период и приведенной к нормализованному виду путем деления на значение массы до проведения опытов, установлена зависимость, приведенная на рисунке 3. С ее помощью можно определять скорости растворения карстующихся пород, зная только изменение их массы даже за ограниченный период проведения замеров.

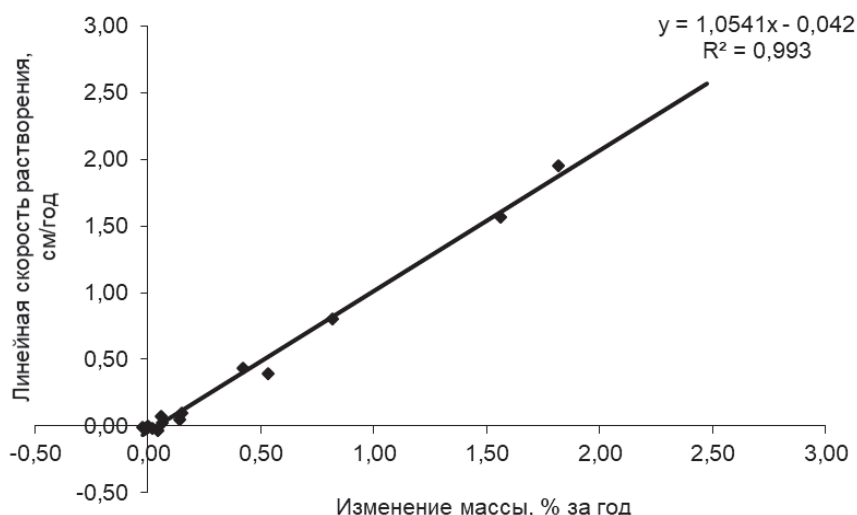


Рис. 3. Прогностическая зависимость для определения линейной скорости растворения пород по изменению их массы

Следует отметить тенденцию к уменьшению плотности большей части образцов за время испытаний, что связано с активизацией процесса выветривания в результате постоянной гидратации кубов. Часть кубов,

подвергались скалыванию в результате длительного водонасыщения, у некоторых кубов развивались характерные трещины на гранях, а 2 образца, представленных карбонатными породами, и вовсе разрушились на 5 и 6 месяце проведения испытаний. Это наблюдение также имеет свой практический интерес. Постоянное водонасыщение карстующихся пород в природном массиве сопровождается ухудшением их физико-механических свойств. Зоны развития сильнотрещиноватых и раздробленных карстующихся пород, а также зоны, в которых породы залегают в мучинистом состоянии (близки по состоянию к пылевато-глинистым грунтам) свидетельствуют об активной фазе развития карстового процесса.

Кроме того, отмечается изменение скорости растворения в зависимости от литологического состава, содержания примесей (SiO_2 , SrO и пр.), размера микротрещин [3].

В рамках данной работы отмечены основные закономерности, полученные в ходе проведения эксперимента по растворению карстующихся пород. Авторы считают, что подобные исследования с особым акцентом на выявление количественных взаимосвязей между химическим составом пород, гидрогеологическими и гидрохимическими особенностями внешней среды и скоростью растворения карстующихся пород следует продолжать и наращивать. В конечном счете, это позволит более точно оценивать опасность развития карста и давать максимально приближенные к реалиям количественные характеристики размеров карстовых деформаций, учитываемых при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Горбунова К.А. Карст некоторых районов Молотовской области (ныне Пермский край). Дисс. канд. геол.-мин., наук. Молотов (ныне Пермь), 1956. 356 с.
2. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1992. 200 с.
3. Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. Опыт растворения карбонатных и сульфатных пород // Материалы международной научно-практической конференции III Крымские карстологические чтения. Симферополь, 2021. С.50-56.
4. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра; Берлин: Akademie, 1990. 151 с.
5. Ford D, Williams P. Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, New York, 2007. 601 p.
6. Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лихая О.М., Ковалева Т.Г. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 77-93