



УДК 624.15:551.435.8

**М. М. УТКИН, канд. техн. наук, ведущий инженер карстологических исследований; М. В. УТКИН, лаборант**

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ  
КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОДНОМ  
ИЗ ЭТАПОВ СКОРОСТНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12  
«МОСКВА – НИЖНИЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ»**

АО «Гео Палитра»

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Костина, д. 3, пом. П53.

Тел.: +7 (920) 252-22-69; эл. почта: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com

*Ключевые слова:* карст, растворение пород, скорость растворения карстующихся пород, скорость роста карстовой полости.

---

*Изложен практический опыт по определению скорости растворения карстующихся пород в лабораторных условиях на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва – Нижний Новгород – Казань». По результатам многочисленных экспериментальных исследований доказано, что учет в максимальной степени природных условий позволяет снизить скорость растворения карстующихся пород и тем самым принять более экономичные проектные решения, обеспечив при этом безопасность сооружений. Кроме того, верхние границы значений скоростей растворения, приведенные в СП 22.13330.2016, являются чрезмерно завышенными.*

---

В соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1–4] при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях необходимо выполнять количественную оценку скорости растворения карстующихся пород, которая в дальнейшем может использоваться при выполнении аналитических и/или численных расчетов по прогнозированию размеров карстовых деформаций на дневной поверхности и/или в основании зданий и сооружений. Согласно СП [2] скорость растворения карстующихся пород может определяться по результатам экспериментальных исследований, проводимых в полевых и лабораторных условиях. Однако определять ее сразу двумя способами, как это требует СП, крайне накладно. Поэтому на практике выбирают один из способов, обычно второй, ввиду высокой стоимости первого.

На уровне государственных стандартов (ГОСТ) и нормативных документов (СП) отсутствуют методики определения скорости растворения карстующихся пород как в полевых, так и лабораторных условиях. В единственном методическом документе по рассматриваемой тематике [5] изложена методика определения скорости растворения и расширения полости в сульфатных породах в лабораторных условиях. Однако одно из основных положений методики, касающееся химического состава растворителя, вступает в противоречие с указанием СП [2]. Кроме того, методика является весьма трудоемкой, и в ней не освещается определение скорости растворения карбонатных пород.

В инженерном карстоведении смысл понятия «скорость растворения пород» с течением времени претерпел существенные изменения. Так, в Рекомендациях ПНИИИС [5] под ней понимается масса растворенного вещества в единицу времени (кг/сут), вынесенного с конкретной площади выщелачивания. В действующих СП [2–4] под ней уже понимается скорость роста пролета (расширения) полости в



единицу времени (см/год) [4]. Ниже будем придерживаться последнего.

В настоящей работе излагается методика лабораторного определения скорости растворения сульфатных и карбонатных пород. При ее разработке за основу была взята методика из [5]. Объект исследований – 3 участка строительства мостовых сооружений (через реки Вадок, Кевса и Пьяна), расположенные в Нижегородской области на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва – Нижний Новгород – Казань».

Для возможности проведения лабораторных испытаний сначала авторами данной статьи была изготовлена экспериментальная установка, показанная на рис. 1 цв. вклейки.

Скорость растворения карстующихся пород зависит от четырех основных факторов: 1) химического состава и 2) состояния пород, 3) химсостава и 4) скорости движения подземных вод. Поэтому, чтобы получить в лабораторных условиях объективные скорости растворения пород, которые имеют место в естественных (природных) условиях, при планировании и затем проведении экспериментальных исследований в максимальной степени учитывались все четыре фактора.

Испытуемые образцы карстующихся пород, которые показаны на рис. 2 цв. вклейки, подготавливались из керна глубоких скважин. Тем самым в лабораторных условиях были учтены первые два фактора.

Для учета в лабораторных условиях третьего фактора из глубоких выработок предусматривался забор подземных вод, приуроченных, как правило, к карстующимся породам. Далее подземные воды оперативно доставлялись в испытательную лабораторию и использовались в качестве растворителя.

Скорость движения подземных вод на каждом участке определялась по результатам полевых опытно-фильтрационных работ (кустовых и одиночных откачек, одиночных наливов) и геофизических исследований (резистивиметрии), что позволило в лабораторных условиях учесть последний фактор.

Лабораторные экспериментальные исследования заключались в объемном растворении стенок отверстия в испытуемых образцах, в закрытой системе, при постоянном режиме фильтрации и ламинарном движении растворителя.

Диаметр отверстия в образцах до проведения экспериментов определялся расчетом (через объем воды, заполняющей отверстие) и прямыми измерениями (штангенциркулем).

Время выполнения экспериментов для сульфатных пород составило 2,5–4 недели, для карбонатных пород – 4 недели.

В ходе проведения экспериментов контролировался расход растворителя, прошедшего через каждый испытуемый образец. Кроме того, на стандартный химический анализ отбирались пробы растворителя до и после прохождения образцов. Результаты исследований приведены в табл. 1.



Таблица 1

## Результаты стандартных химических анализов растворителя

| Номер пробы                                     | Место отбора пробы растворителя (вид породы) | Анионы, мг/л     |       |                 | Катионы, мг/л |       |        | Минерализация М, г/л |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-------|-----------------|---------------|-------|--------|----------------------|
|                                                 |                                              | HCO <sub>3</sub> | Cl    | SO <sub>4</sub> | Ca            | Mg    | Na+K   |                      |
| Участок 1 – мост через р. Вадок                 |                                              |                  |       |                 |               |       |        |                      |
| 121                                             | Перед прохождением образцов (обр.)           | 91,53            | 5,32  | 890             | 372,74        | 15,80 | 5,98   | 1,390                |
| 127                                             | После прохождения обр. № 1 (доломит)         | 85,43            | 7,10  | 1350            | 336,67        | 38,88 | 222,87 | 2,008                |
| 128                                             | После прохождения обр. № 2 (доломит)         | 91,53            | 14,17 | 1360            | 308,62        | 89,91 | 169,97 | 2,004                |
| 122                                             | После прохождения обр. № 3 (гипс)            | 97,63            | 5,32  | 1500            | 424,85        | 99,63 | 80,04  | 2,164                |
| 123                                             | После прохождения обр. № 4 (гипс)            | 91,53            | 7,10  | 1380            | 440,88        | 53,46 | 89,70  | 2,144                |
| 124                                             | После прохождения обр. № 5 (ангидрит)        | 85,43            | 10,64 | 1330            | 384,77        | 85,05 | 72,45  | 1,928                |
| 125                                             | После прохождения обр. № 6 (ангидрит)        | 97,63            | 8,86  | 1330            | 412,82        | 82,62 | 47,61  | 1,940                |
| 126                                             | После прохождения обр. № 7 (известняк)       | 85,43            | 5,32  | 1180            | 348,70        | 34,02 | 135,47 | 1,764                |
| 129                                             | После прохождения обр. № 8 (известняк)       | 109,84           | 10,64 | 1210            | 348,70        | 19,44 | 190,44 | 1,868                |
| 130                                             | После прохождения обр. № 9 (известняк)       | 103,73           | 14,17 | 1240            | 332,66        | 46,17 | 172,73 | 1,864                |
| Участок 2 – мост через р. Кевса<br>Правый берег |                                              |                  |       |                 |               |       |        |                      |
| 75                                              | Перед прохождением образцов (обр.)           | 213,57           | 9,75  | 1440            | 384,77        | 89,91 | 167,67 | 2,220                |
| 76                                              | После прохождения обр. № 1 (известняк)       | 210,52           | 9,75  | 1560            | 356,71        | 60,75 | 311,19 | 2,440                |



| Окончание табл. 1                      |                                              |                  |                  |                 |                  |                 |                 |                      |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Номер пробы                            | Место отбора пробы растворителя (вид породы) | Анионы, мг/л     |                  |                 | Катионы, мг/л    |                 |                 | Минерализация М, г/л |
|                                        |                                              | HCO <sub>3</sub> | Cl               | SO <sub>4</sub> | Ca               | Mg              | Na+K            |                      |
| 77                                     | После прохождения обр. № 4 (гипс)            | 222,72           | 7,98             | 1620            | 400,80           | 49,81           | 313,26          | 2,540                |
| 78                                     | После прохождения обр. № 5 (ангидрит)        | 222,72           | 9,75             | 1560            | 412,82           | 60,75           | 251,39          | 2,430                |
| <i>Левый берег</i>                     |                                              |                  |                  |                 |                  |                 |                 |                      |
| 158                                    | Перед прохождением образцов (обр.)           | 97,63            | 198,52           | 2000            | 561,12           | 72,90           | 341,32          | 3,240                |
| 159                                    | После прохождения обр. № 3а (известняк)      | 97,63            | 200,29           | 2140            | 547,09           | 69,25           | 433,32          | 3,440                |
| 160<br>156                             | После прохождения обр. № 4а (доломит)        | 97,63<br>91,53   | 189,66<br>191,43 | 1480<br>1550    | 525,05<br>517,03 | 92,34<br>102,06 | 92,23<br>100,74 | 2,490<br>2,532       |
| 161                                    | После прохождения обр. № 5а (известняк)      | 97,63            | 186,11           | 1720            | 573,14           | 104,49          | 126,04          | 3,214                |
| <i>Участок 3 – мост через р. Пьяна</i> |                                              |                  |                  |                 |                  |                 |                 |                      |
| 110                                    | Перед прохождением образцов (обр.)           | 256,30           | 8,86             | 550             | 211,62           | 23,81           | 81,19           | 1,076                |
| 105                                    | После прохождения обр. № 1 (доломит)         | 250,18           | 10,64            | 1260            | 262,92           | 26,73           | 352,82          | 2,140                |
| 106                                    | После прохождения обр. № 2 (доломит)         | 262,40           | 7,10             | 860             | 244,49           | 40,82           | 177,56          | 1,560                |
| 107                                    | После прохождения обр. № 3 (гипс)            | 256,30           | 8,90             | 1740            | 428,05           | 36,94           | 398,13          | 2,852                |
| 108                                    | После прохождения обр. № 4 (гипс)            | 250,20           | 7,10             | 1980            | 378,36           | 39,85           | 571,78          | 3,200                |
| 109                                    | После прохождения обр. № 5 (ангидрит)        | 262,40           | 7,10             | 940             | 252,50           | 33,53           | 215,97          | 1,704                |

Система «карстующиеся породы – растворитель» характеризуется сложным взаимодействием растворителя с породами. Исходя из результатов химических анализов растворителя (см. табл. 1), отметим следующее:

**К СТАТЬЕ М. М. УТКИНА, М. В. УТКИНА**  
**«ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ**  
**КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОДНОМ**  
**ИЗ ЭТАПОВ СКОРОСТНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12**  
**«МОСКВА – НИЖНИЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ»**

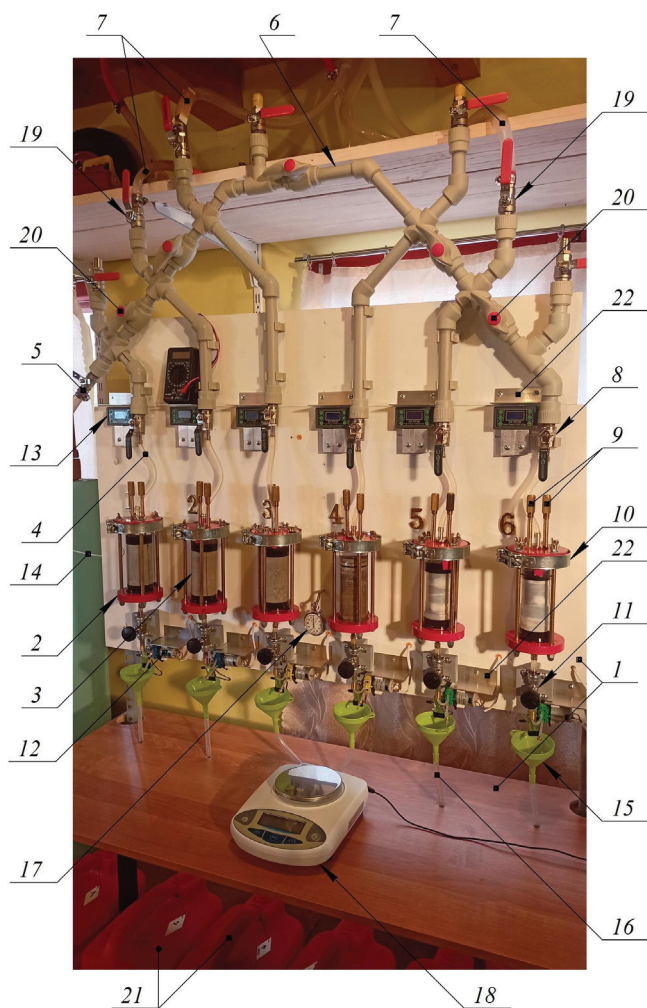


Рис. 1. Конструкция лабораторной экспериментальной установки для изучения скорости растворения карстующихся пород (скорости расширения отверстия в карстующихся породах). Условные обозначения: 1 – основание; 2 – рабочий цилиндр; 3 – образец растворяемой породы, установленный в рабочий цилиндр; 4 – соединительный шланг; 5 – сливной кран; 6 – распределительная гребенка; 7 – шланги, подающие растворитель из напорных емкостей, расположенных на втором этаже лаборатории; 8 – подающий кран; 9 – прижимное устройство; 10 – хомут; 11 – выпускной кран; 12 – выпускной насос; 13 – пульт управления насосом; 14 – кабель питания; 15 – воронка; 16 – выпускной шланг; 17 – секундомер; 18 – электронные весы; 19 – перекрывающие краны; 20 – распределительные краны; 21 – приемные емкости; 22 – защитные козырьки



*a*



*б*

Рис. 2. Общий вид керна (слева) и испытываемого образца (справа) карстующейся породы:  
*a* – доломит; *б* – гипс





1. После протекания растворителя через образцы карбонатных и сульфатных пород в растворителе, как правило, очень сильно увеличивается содержание иона  $\text{Na}+\text{K}$ , а также возрастает  $\text{SO}_4$ . Предполагается, что указанные ионы, взаимодействуя между собой, образуют сульфаты натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и/или калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), являющиеся легкорастворимыми солями (растворимость  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в воде при температуре  $10\text{--}20^\circ\text{C}$  составляет  $9,6\text{--}19,2$  г/100 мл, а  $\text{K}_2\text{SO}_4$  –  $9,3\text{--}11,1$  г/100 мл).

2. На участке 1 в растворителе, после его прохождения через карбонатные и сульфатные породы, значительно увеличивается количество иона  $\text{Mg}$ , а также очень часто возрастают ионы  $\text{Cl}$ , которые при взаимодействии могут образовывать магниевую соль соляной кислоты ( $\text{MgCl}_2$ ), являющуюся весьма гигроскопичной (растворимость в воде при температуре  $10\text{--}20^\circ\text{C}$  составляет  $53,6\text{--}54,3$  г/100 мл).

3. На участках 2 и 3 содержание в растворителе иона  $\text{Cl}$  практически не изменяется. Однако на участке 3, после протекания растворителя через испытываемые образцы, в растворителе количество иона  $\text{Mg}$  увеличивается, а на правом берегу участка 2 – уменьшается. В первом случае можно сделать вывод о выносе из образцов доломита, поскольку в растворителе возрастает содержание не только иона  $\text{Mg}$ , но и  $\text{Ca}$ . Во втором случае вероятно имеет место ионный обмен, т. е. когда растворитель из карстующихся пород выносит легкорастворимые соединения (например,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и/или  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и оставляет в них труднорастворимые (например,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). На левом берегу участка 2 ситуация в целом неоднозначная.

Как было установлено позднее (в процессе выполнения других экспериментов), с течением времени химический состав растворителя, до и после его прохождения через испытываемые образцы, может изменяться, причем иногда существенно. Однако это предмет отдельных исследований.

Диаметр отверстий в испытываемых образцах после завершения экспериментов определялся тремя способами, а именно: расчетами (через потерю массы сухого образца и через объем воды, заполняющей отверстие) и прямыми измерениями (штангенциркулем). Учитывая изложенное в п. 1 и п. 2 (см. выше), скорость расширения отверстий вычислялась исходя из диаметров, определенных 2 и 3 способами. По своему физическому смыслу она может считаться равной скорости роста пролета карстовых полостей и скорости растворения карстующихся пород [4], которая в дальнейшем была пересчитана на годовую. Полученные результаты сведены в табл. 2.

По результатам лабораторных экспериментальных исследований получены следующие *скорости растворения карстующихся пород*:

- участок 1 (мост через р. Вадок): известняки и доломиты –  $0,10\text{--}0,55$  см/год; гипсы –  $2,36\text{--}3,31$  см/год (средняя  $2,84$  см/год); ангидриты –  $0,83\text{--}0,85$  см/год;
- участок 2 (мост через р. Кевса): известняки и доломиты –  $0,05\text{--}1,16$  см/год; гипсы –  $3,51\text{--}4,07$  см/год (средняя  $3,79$  см/год); ангидриты –  $0,23\text{--}0,47$  см/год;
- участок 3 (мост через р. Пьяна): доломиты –  $0,25\text{--}0,42$  см/год; гипсы –  $2,48\text{--}2,91$  см/год (средняя  $2,70$  см/год); ангидриты –  $0,64\text{--}0,88$  см/год;
- в целом по исследуемому объекту: известняки и доломиты –  $0,05\text{--}1,16$  см/год (средняя  $0,36$  см/год); гипсы –  $2,36\text{--}4,07$  см/год (средняя  $3,11$  см/год); ангидриты –  $0,23\text{--}0,88$  см/год (средняя  $0,65$  см/год).

При использовании результатов прямых измерений диаметров отверстий:

- в верхней и нижней частях образцов: известняки и доломиты –  $0\text{--}1,03$  см/год (средняя  $0,28$  см/год); гипсы –  $1,85\text{--}3,74$  см/год (средняя  $2,81$  см/год); ангидриты –  $0,11\text{--}0,69$  см/год (средняя  $0,42$  см/год);
- в нижней части образцов: известняки и доломиты –  $0\text{--}0,55$  см/год (средняя



0,22 см/год); гипсы – 0,61–2,95 см/год (средняя 1,84 см/год); ангидриты – 0–0,98 см/год (средняя 0,42 см/год).

Таблица 2

**Скорости растворения карстующихся пород по результатам лабораторных экспериментальных испытаний**

| Номер образца                   | Краткое описание керна и испытуемого образца                                                                 | Минерализация / скорость течения растворителя, г/л / м/сут | Скорость растворения породы, см/год |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Участок 1 – мост через р. Вадок |                                                                                                              |                                                            |                                     |
| 1                               | Доломит известковистый, с точечными включениями гипса, слаботрещиноватый (трещины частично заполнены гипсом) | 1,390 / 8,2                                                | 0,55                                |
| 2                               | Доломит известковистый, с точечными включениями гипса, слаботрещиноватый (трещины частично заполнены гипсом) |                                                            | 0,37                                |
| 3                               | Гипс слабый, скрытокристаллический                                                                           |                                                            | 2,36                                |
| 4                               | Гипс слабый, скрытокристаллический                                                                           |                                                            | 3,31                                |
| 5                               | Ангидрит сильнотрещиноватый (трещины залечены гипсом), с включениями розеток гипса                           |                                                            | 0,83                                |
| 6                               | Ангидрит сильнотрещиноватый (трещины залечены гипсом), с включениями розеток гипса                           |                                                            | 0,85                                |
| 7                               | Известняк доломитизированный, сильнокавернозный (каверны размером до 2 см, частично заполнены гипсом)        |                                                            | 0,49                                |
| 8                               | Известняк монолитный                                                                                         |                                                            | 0,10                                |
| 9                               | Известняк монолитный                                                                                         |                                                            | 0,12                                |
| Участок 2 – мост через р. Кевса |                                                                                                              |                                                            |                                     |
| 1                               | Известняк кавернозный (каверны полые, редкие)                                                                | 2,220 / 37,1                                               | 0,05                                |
| 2                               | Доломит сильноизвестковистый, монолитный                                                                     |                                                            | 1,16                                |
| 3                               | Гипс глинизированный, сильнотрещиноватый, очень слабый                                                       |                                                            | 3,51                                |
| 4                               | Гипс кавернозный (каверны полые, редкие)                                                                     |                                                            | 4,07                                |
| 5                               | Ангидрит монолитный                                                                                          |                                                            | 0,23                                |
| 6                               | Ангидрит монолитный                                                                                          |                                                            | 0,47                                |
| 3а                              | Известняк доломитизированный, слабоогипсованный                                                              | 3,240 / 37,1                                               | 0,18                                |
| 4а                              | Доломит известковистый, кавернозный (каверны шириной до 2 см, частично заполнены гипсом), слоистый, пористый |                                                            | 0,40                                |
| 5а                              | Известняк доломитизированный, слабоогипсованный                                                              |                                                            | 0,22                                |





| Окончание табл. 2                      |                                                                               |                                                            |                                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Номер образца                          | Краткое описание керна и испытуемого образца                                  | Минерализация / скорость течения растворителя, г/л / м/сут | Скорость растворения породы, см/год |
| <i>Участок 3 – мост через р. Пьяна</i> |                                                                               |                                                            |                                     |
| 1                                      | Доломит монолитный                                                            | 1,076 / 4,3                                                | 0,25                                |
| 2                                      | Доломит огипсованный, монолитный                                              |                                                            | 0,42                                |
| 3                                      | Гипс кавернозный (каверны щелевидные, заполнены крупнокристаллическим гипсом) |                                                            | 2,91                                |
| 4                                      | Гипс монолитный слабый                                                        |                                                            | 2,48                                |
| 5                                      | Ангидрит с частыми включениями розеток гипса, монолитный                      |                                                            | 0,64                                |
| 6                                      | Ангидрит с частыми включениями розеток гипса, монолитный                      |                                                            | 0,88                                |

Анализируя конечные результаты экспериментов (см. табл. 2), представляется возможным сделать следующие практические выводы:

1. На скорость растворения значительное влияние оказывает химический состав и состояние карстующихся пород, наличие в них включений. Например, на участке 3 скорость выщелачивания *монолитного* доломита составила 0,25 см/год, а *монолитного огипсованного* – 0,42 см/год (если учитывать растворение гипсовых включений). Причем на участке 2 скорость «растворения» (здесь все же основным является суффозионный процесс) *сильноизвестковистого* доломита (доломит пористый, поровое пространство заполнено известковой мукой) составила 1,16 см/год.

2. Применение в качестве растворителя трещинно-карстовой (высокоминерализованной) воды взамен водопроводной (пресной) или дистиллированной, позволяет, как правило, существенно снизить скорость растворения сульфатных пород. Так, другими исследователями на рассматриваемом этапе автодороги М-12 по результатам лабораторных экспериментальных исследований, которые заключались в выщелачивании призм гипса (средней прочности, средней плотности, слаботрещиноватый, слабовыветрелый), скорость их растворения в *пресной* воде получена равной 3,20–3,94 см/год (средняя 3,57 см/год), что превышает в среднем до 1,94 раза результаты текущих экспериментов в *высокоминерализованной* воде. При этом важно отметить, что в пресной воде испытывались гипсы средней прочности и практически незакарстованные, а в высокоминерализованной – слабые и закарстованные.

3. Важным фактором является скорость движения подземных вод, приуроченных к карстующимся породам [7]. Например, на участке 2, несмотря на более высокую минерализацию растворителя (в 1,6-2,1 раза), чем на участках 1 и 3, скорость растворения гипсов получилась в 1,34-1,40 раза выше.

4. Ввиду выноса из состава карстующихся пород легкорастворимых соединений (таких как  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$  и др.) в прилегающей к карстовой полости зоне могут заметно снижаться физико-механические свойства пород, что рекомендуется учитывать при проектировании мостовых сооружений, фундаменты которых обычно предусматриваются глубокого заложения. Размеры таких зон возможно оценить исходя из диаметра отверстий в испытуемых образцах, определенного



через потерю их массы.

5. Ангидриты характеризуются низкой скоростью растворения. Чтобы ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) активно растворялся, его необходимо перевести в гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), т. е. насытить двумя молекулами воды. В рассматриваемом случае такое насыщение происходит крайне медленно. Поэтому всегда относить ангидрит к среднерастворимым породам, как это сделано в табл. 6.15а СП 22.13330.2016 [2], некорректно. Дополнительно отметим отсутствие в указанной таблице гипса.

6. Согласно результатам многочисленных экспериментальных исследований, выполненных разными исследователями [5–8] и авторами настоящей статьи, с уверенностью можно утверждать, что верхние границы значений скоростей растворения карбонатных и сульфатных пород, приведенные в табл. 6.15а СП [2] «для стандартных природных условий», являются чрезмерно завышенными. Кроме того, в указанной таблице вызывает глубокое удивление растворимость диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), которая, оказывается, сопоставима с растворимостью карбонатов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства : официальное издание : одобрен Письмом Управления научно-технических и проектно-изыскательских работ Госстроя Российской Федерации от 25.09.2000 № 5-11/88 : дата введения 01.01.2001. Часть 2 : Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. – Москва : Госстрой России. – 2003. – 102 с. – (Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства). – Текст : непосредственный.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* : утвержден приказом Минстроя России от 16.12.2016 № 970 пр : дата введения с 17.06.2017 : [редакция от 22.11.2019]. – Москва : Минстрой России, 2019. – 154 с. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.
3. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения : актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 (с Изменением №1) : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.06.2012 г. № 274 : дата введения 01.01.2013 г. : [редакция от 30.12.2020]. – Москва : Минрегион России, 2020. – 66 с. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.
4. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 02.03.2021 № 105/пр : введен впервые : дата введения 03.09.2021. – Москва : Минстрой России, 2021. – 65 с. – Текст : непосредственный.
5. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / ПНИИИС. – Москва : Стройиздат, 1984. – 48 с. – Текст : непосредственный.
6. Родионов, Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве: методические указания / Н. В. Родионов. – Москва : Госгеолтехиздат, 1958. – 183 с. – Текст : непосредственный.
7. Горбунова, К. А. Карст гипса СССР : учебное пособие по спецкурсу / К. А. Горбунова. – Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 1977. – 84 с. – Текст : непосредственный.
8. Толмачев, В. В. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В. В. Толмачев, Г. М. Троицкий, В. П. Хоменко ; под редакцией Е. А. Сорочана. – Москва : Стройиздат, 1986. – 176 с. – Текст : непосредственный.



**UTKIN Mikhail Mikhaylovich, candidate of technical sciences, leading engineer of karstological investigation; UTKIN Mikhail Viktorovich, laboratory assistant**

**PRACTICAL EXPERIENCE OF DETERMINING THE DISSOLUTION RATE  
OF KARST ROCKS UNDER LABORATORY CONDITIONS  
AT ONE OF THE SECTION OF  
"MOSCOW – NIZHNY NOVGOROD – KAZAN" M-12 HIGHWAY**

JSC Geo Palitra

3, Kostin St., off. P53, Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (920) 252-22-69;

e-mail: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com

*Key words:* karst, rock dissolution, dissolution rate of karst rocks, rate of karst cavity growth.

---

*This article is about practical experience of determining the dissolution rate of karst rocks under laboratory conditions at one of the "Moscow – Nizhny Novgorod – Kazan" M-12 Highway sections. Based on the results of numerous experimental studies, it has been proven that the rate of karst rock dissolution can be significantly reduced by taking into account natural conditions to the maximum extent and, thus, to make more economical design decisions. In addition, the upper limits of the dissolution rates of carbonate and sulfate rocks specified in SP 22.13330.2016 are overestimated.*

---

REFERENCES

1. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva [Engineering geological site investigations for construction] : odobren pismom Upravleniya nauchno-tehnicheskikh i proektno-izyskatelskikh rabot Gosstroya RF ot 25.09.2000 № 5-11/88 : data vved. 01.01.2001. Chast 2. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov. Moscow, Gosstroy Rossii, 2003. – 102 p. – (Sistema normativnykh dokumentov v stroitelstve. Svod pravil po inzhenernym izyskaniyam dlya stroitelstva).
2. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Soil bases of buildings and structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83\* : utverzhdyon prikazom Ministroya Rossii ot 16.12.2016 № 970/pr : data vved. 17.06.2017 : red. ot 22.11.2019. Moscow, Minstroy Rossii, 2019. – 154 p. – (Svod pravil).
3. SP 116.13330.2012. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 22-02-2003 (s Izmeneniyem № 1) : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va region. razvitiya RF ot 30.06.2012 № 274 : data vved. 01.01.2013 : red. ot 30.12.2020. Moscow, Minregion Rossii, 2020. – 66 p. – (Svod pravil).
4. SP 499.1325800.2021. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot karstovo-suffuzionnykh protsessov. Pravila proektirovaniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from karst-suffusion processes. Design rules] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 02.03.2021 № 105/pr : vved. vpervye : data vved. 03.09.2021. Moscow, Minstroy Rossii, 2021. – 65 p.
5. Rekomendatsii po laboratornomu fizicheskomu modelirovaniyu karstovykh protsessov [Recommendations for laboratory physical modeling of karst processes] / PNIIS. Moscow, Sroyizdat, 1984. – 48 p.
6. Rodionov N. V. Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v karstovykh rayonakh pri ustroystve malykh vodoyomov, grazhdanskom i promyshlennom stroitelstve [Engineering-geological research in karst areas in the construction of small reservoirs, civil and industrial construction] : metodicheskie ukazaniya. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1958. – 183 p.



7. Gorbunova K. A. Karst gipsa SSSR [USSR gypsum karst]: учебное пособие по спetskursu. Perm, Izd. Permskogo un-ta, 1977, 84 p.

8. Tolmachev V. V., Troitskiy G. M., Khomenko V. P. Inzhenerno-stroitelnoe osvoenie zakarstovannykh territoriy [Geotechnical reclamation of karst area]; pod red. E.A. Sorochana. Moscow, Stroyizdat, 1986, 176 p.

© **М. М. Уткин, М. В. Уткин, 2022**

Получено: 01.02.2022 г.