
УДК 551.435.8

Показатели наблюдения и оценки карстовых процессов

Шарапов Р.В.

В работе проводится систематизация показателей, используемых для наблюдения и оценки состояния карстовых процессов. Подробно рассматриваются количественные показатели, характеризующие поверхностные проявления карстовых процессов, подземные проявления карстовых процессов и подземную гидрологию. К показателям, характеризующим поверхностные проявления карстовых процессов, относятся: показатель карстовой пораженности территории, показатель интенсивности карстовых форм, средняя периодичность образования карстовых форм, площадной показатель карстовой пораженности территории, показатель среднегодовой поражаемости территории карстовыми формами, объёмный показатель карстовой пораженности, объёмный коэффициент закарстованности, показатель среднегодового прироста объёма карстовых форм, площадь, глубина и диаметр отдельной карстовой формы, показатель глубинности карстовых воронок, скорость приращения размеров карстовых форм. Показатели, характеризующие подземные проявления карстовых процессов включают: линейный коэффициент внутренней закарстованности, линейный коэффициент открытой закарстованности, линейный коэффициент общей закарстованности, линейный коэффициент поверхностной закарстованности, коэффициент аномальности, линейная плотность карстовых полостей, площадная плотность карстовых полостей, объёмная плотность карстовых полостей, показатель активности карстовых процессов, общее оседание исследуемой территории, скорость растворения пород. К показателям, характеризующим гидрологический режим территории, относятся: уровень подземных вод, скорость движения подземных вод, температура подземных вод, химический состав подземных вод, коэффициент фильтрации подземных вод, коэффициент колебания дебита карстовых источников, подземная карстовая денудация, дефицит насыщения вод сульфатом кальция, коэффициент колебания минерализации карстовых вод, произведение активностей ионов кальция и сульфатного, кальция и карбонатного, градиент выщелачивания.

Ключевые слова: карст, карстовые процессы, мониторинг, поверхностное проявление карста, подземное проявление карста, подземные воды.

Indicators for monitoring and assessment of karst processes

Sharapov R.V.

The paper presents a system of indicators used for monitoring and evaluation of karst processes. It details the quantitative indicators of the surface displays of karst processes, undersurface karst processes and underground hydrology displays. The indicators characterizing the undersurface forms of karst processes include the following: karst area infestation rate, karst form intensity rate, average frequency of karst formation, areal rate of karst area infestation, the average annual rate of karst area infestation, the volumetric rate of karst infestation, karst formation volume factor, an average annual expansion of karst area, the depth and the diameter of specific karst forms, indicator of the sinkholes depth, the rate of karst expansion size. The indicators characterizing the underground forms of karst processes are: the linear coefficient of internal karst formation, the linear coefficient of external karst formation, the linear coefficient of the total karst formation, the linear coefficient of surface karst formation, the abnormality coefficient, the linear density of karst cavities, the areal density of karst cavities, the volume density of karst cavities, karst processes activity rate, the total deposition of study area, the dissolution layer rate. The indicators characterizing the hydrological regime of the area involve the groundwater level, the rate of groundwater flow, the groundwater temperature, the chemical composition of groundwater, filtration rate of groundwater, fluctuations rate of karst springs flow rate, underground karst denudation, water saturation deficit of calcium sulfate, fluctuation rate of karst water mineralization, activity production of calcium and sulfate, calcium and carbonate, the leaching gradient.

Keywords: karst, karst processes, monitoring, karst surface forms, undersurface karst forms, groundwater.

Введение

Карстовые и суффозные процессы оказывают существенное влияние на безопасность промышленных и гражданских объектов. Ежегодно наряду с множеством незначительных проявлений возникают крупные карстовые провалы, вызывающие разрушение различных объектов и гибель людей (см. рис. 1). В этом нет ничего удивительного, ведь карстующиеся породы занимают около трети всей суши [6]. Естественно, невозможно полностью исключить закарстованные территории из зоны освоения и строительства. По этой причине актуальной задачей становится объективная оценка карстовой опасности той или иной территории и снижение к минимуму вероятности аварий на вновь возводимых зданиях и сооружениях, вызванных развитием карстовых процессов.

Решение задачи в первую очередь состоит во всестороннем обследовании территории, проведении наблюдения за динамикой кар-

стовых процессов и моделировании (предсказании) дальнейших состояний. Возникает вопрос: какие показатели могут дать полную картину о протекании карстовых процессов? Существует множество показателей напрямую и косвенно отражающих те или иные стороны развития карстов.

Цель работы – рассмотреть различные группы показателей, которые могут использоваться для проведения мониторинга и оценки состояния карстовых процессов.

Показатели наблюдения и оценки карстовых процессов

При проведении мониторинга экзогенных (в том числе карстовых) процессов важное значение приобретает выделение показателей наблюдения и оценки, наиболее точно характеризующих исследуемые процессы [15]. Различают качественные и количественные характеристики, используемые для оценки развития карстовых процессов.



Рис. 1. Карстовый провал в Гватемале.

Качественные методы применяются более 100 лет. Они используют комплекс разнообразных «поисковых» признаков, позволяющих в той или иной мере оценить активность карстовых процессов на исследуемой территории. При этом производится районирование территории на категории (например, опасные, мало опасные и неопасные). Достаточно подробный обзор качественных методов приведен в [14].

Среди характерных признаков, используемых качественными методами оценки, можно отметить:

1. Наличие поверхностных карстовых форм [3];
2. Наличие свежееобразованных карстовых форм;
3. Наличие закарстованности пород, проявляющихся в виде полостей;
4. Интенсивность развития карстовых процессов [5];
5. Отсутствие водоупоров или слабое прерывистое их развитие;
6. Наличие вертикальной фильтрации подземных вод;
7. Образование в процессе бурения провальных воронок;
8. Наличие температурных и гидрохимических аномалий в подземных водах.

Надо заметить, что в настоящее время отсутствуют единые критерии отнесения карстовых процессов к той или иной категории. Качественные методы не являются в должной степени объективными [14], так как выбор критериев осуществляется интуитивно.

Количественные методы позволяют подсчитывать некоторые числовые (количественные) показатели, характеризующие исследуемую территорию. Такие показатели, в связи с четкой цифровой выраженностью, лишены влияния субъективных факторов и позволяют дать объективную оценку тех или иных сторон проявления карстовых процессов. По этой причине, количественным пока-

зателям карстовых процессов следует уделить особое внимание.

Показатели, используемые для наблюдения и количественной оценки карстовых процессов можно разделить на три основные группы:

1. показатели, характеризующие поверхностные проявления карстовых процессов,
2. показатели, характеризующие подземные проявления карстовых процессов,
3. показатели, характеризующие подземную гидрологию на исследуемой территории.

Показатели, характеризующие поверхностные проявления карстовых процессов

К поверхностным проявлениям карста (карстовым формам) относятся воронки, котловины, цирки, сухие долины, крупные лога, долины рек и ручьев, озера. Рассмотрим основные показатели, характеризующие поверхностные проявления карстов:

1. Показатель карстовой пораженности территории (плотность карстовых форм) (шт/м²):

$$K^N = \frac{n}{S},$$

где n – количество карстовых форм, S – площадь оцениваемого участка территории (м²).

2. Показатель интенсивности карстовых форм (среднегодовое количество карстовых форм на 1 км² территории) [5] (шт/м²·год):

$$K^H = \frac{n}{S \cdot t},$$

где t – количество лет наблюдения (год).

3. Средняя периодичность образования карстовых форм [14] (м²·год/шт):

$$T = \frac{S \cdot t}{n}.$$

4. Площадной показатель карстовой пораженности территории [1] (%):

$$K^S = \frac{\sum_1^n S_{\phi}}{S} \cdot 100,$$

где $\sum_1^n S_{\phi}$ – сумма площадей всех карстовых форм на оцениваемом участке (м^2).

5. Показатель среднегодовой поражаемости территории карстовыми формами [13] (%/год):

$$K^{dS} = \frac{\sum_1^n S_{\phi}}{S \cdot t} \cdot 100.$$

6. Объёмный показатель карстовой пораженности (%) [11]:

$$K^V = \frac{\sum_1^n V_{K\phi}}{V} \cdot 100,$$

где $\sum_1^n V_{K\phi}$ – сумма объёмов всех карстовых форм на оцениваемом участке (м^3),
 V – объём изучаемого карстового массива (м^3).

7. Объёмный коэффициент закарстованности [10] (м):

$$K^{VF} = \frac{\sum_1^n V_{K\phi}}{S}.$$

8. Показатель среднегодового прироста объёма карстовых форм [4] ($\text{м}^3/\text{км}^2 \cdot \text{год}$):

$$K^{iV} = \frac{\sum_1^n V_{K\phi}^t}{S \cdot t},$$

где $\sum_1^n V_{K\phi}^t$ – сумма объёмов всех карстовых форм на оцениваемом участке, образовавшихся за время наблюдения t (м^3),

9. Площадь (м^2), глубина (м) и диаметр (м) отдельной карстовой формы [2].

10. Показатель глубинности карстовых воронок:

$$K^h = \frac{h}{d},$$

где h – глубина карстовой формы (м),
 d – диаметр карстовой формы (м).

11. Скорость приращения размеров карстовых форм ($\text{мм}^2/\text{сутки}$).

Показатели, характеризующие подземные проявления карстовых процессов

Рассмотрим показатели, характеризующие подземные проявления карста:

1. Линейный коэффициент внутренней закарстованности (%) [4]:

$$K_L^{en} = \frac{\sum h_c}{\sum l_b} \cdot 100,$$

где h_c – вертикальный размер карстовой полости в области бурения,

l_b – мощность карстующихся пород или длина проводки скважин.

2. Линейный коэффициент открытой закарстованности (%):

$$K_L^{om} = \frac{\sum h_{co}}{\sum l_b} \cdot 100,$$

где h_{co} – вертикальный размер незаполненной карстовой полости в месте бурения.

3. Линейный коэффициент общей закарстованности (%):

$$K_L^{ob} = \frac{\sum h_c + \sum (m_o - l_b)}{\sum m_o} \cdot 100,$$

где m_o – полная мощность карстующихся пород.

4. Линейный коэффициент поверхностной закарстованности (%):

$$K_L^{nz} = \frac{m_o - \overline{m_o}}{m_o} \cdot 100,$$

где $\overline{m_o}$ – средняя мощность карстующихся пород.

5. Коэффициент аномальности:

$$K_A = \frac{N_c}{N},$$

где N_c – количество скважин, вскрывших карстовые полости (шт),

N – общее количество скважин (шт).

6. Линейная плотность карстовых полостей (шт/100 м):

$$P^L = \frac{n}{0.01 \cdot l_b}.$$

7. Площадная плотность карстовых полостей (шт/10⁴ м²):

$$P^S = \frac{n}{10^{-4} \cdot S}.$$

8. Объёмная плотность карстовых полостей (шт/10⁶ м³)

$$P^V = \frac{n}{10^{-6} \cdot V}.$$

9. Показатель активности карстовых процессов (%) [11]:

$$П_{КП}^V = \frac{V_p}{V} \cdot 100,$$

где V_p – объём растворенной породы, выносимой подземными водами за 1000 лет (м³).

10.Общее оседание исследуемой территории (мм/год).

11.Скорость растворения пород (мм/год).

Показатели, характеризующие подземную гидрологию

К показателям, характеризующим гидрологический режим территории можно отнести [16]:

1. Уровень подземных вод [7] (м);
2. Скорость движения подземных вод (м/с);
3. Температура подземных вод [8] (°C);
4. Химический состав подземных вод (моль/дм³);
5. Коэффициент фильтрации подземных вод (м/сутки);
6. Коэффициент колебания дебита карстовых источников:

$$K_6^D = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}},$$

где Q_{\max} – максимальный расход карстового источника,

Q_{\min} – минимальный расход карстового источника.

7. Подземная карстовая денудация [9, 12] (м³/км²·год).

8. Дефицит насыщения вод сульфатом кальция (мг/л).

9. Коэффициент колебания минерализации карстовых вод:

$$K_6^M = \frac{C_{\max}}{C_{\min}},$$

где C_{\max} – максимальная минерализация карстовых вод,

C_{\min} – минимальная минерализация карстовых вод.

10.Произведение активностей ионов кальция и сульфатного, кальция и карбонатного.

11.Градиент выщелачивания (мг/л 100м):

$$g^M = \frac{C_L - C_0}{0.01 \cdot L},$$

где C_0 – начальная минерализация карстовых вод (мг/л),

C_L – конечная минерализация карстовых вод (мг/л),

L – длина отрезка измерения (м).

Конечно, деление показателей, используемых для наблюдения и оценки карстовых процессов на три группы, несколько условно. Это связано с тем, карстовые процессы подвержены влиянию различных факторов среды. Показатели, используемые для их оценки, также отражают эти влияния. Так, например, скорость растворения пород с одной стороны является характеристикой карстующихся пород, а с другой – тесно связана с омывающими их подземными водами.

Заключение

Приведенные параметры описывают не только изменение геологической среды (то есть, образование пустот и провалов), но и связанные с ней показатели гидрологической среды (взаимодействие карстовых пород с подземными водами). Все это позволяет более качественно подходить к вопросам мониторинга карстовых процессов и прогнозирования из развития в будущем.

Литература

1. *Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А.* Инженерная геодинамика – М: КДУ, 2009. – 440с.

2. ГОСТ Р 22.1.06-99. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования» – М.: 1999.

3. *Дубровкин В.Л.* Исследование карстовых процессов при изыскании трассы для железнодорожных линий // Советская геология, 1948, № 35.

4. *Костарев В.П.* О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инженерно-строительные изыскания, 1979, №1.

5. *Макеев З.А.* Принципы инженерно-геологического районирования карстовых областей // Московская конференция по карсту, вып. 4. – Молотов: Издание Молотовского госуниверситета, 1948.

6. *Максимович Г.А.* Основы карстоведения. Том 1. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1963.

7. Методические рекомендации по организации и производству наблюдений за режимом уровня, напора и дебита подземных вод. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1983

8. Методические указания по производству наблюдений за режимом температуры подземных вод. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1983

9. Проблемы изучения карстовых полостей горных областей СССР. – Ташкент: Фан УзССР, 1983. – 150с.

10. Проектирование, строительство и эксплуатация земляного полотна в карстовых районах. – М.: Транспорт, 1968.

11. *Родионов Н.В.* Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. – М.: Госгеолтехиздат, 1958.

12. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. – М.: ПНИИИС, 1995. – 167с.

13. *Саваренский И.А.* Инженерно-геологическая оценка карстовых явлений в районе г.Дзержинска // Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского, 1962, Том 47.

14. *Толмачев В.В.* и др. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В.В.Толмачев, Г.М.Троицкий, В.П.Хоменко; под.ред.Е.А.Сорочана. – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.

15. *Шарапов Р.В.* Мониторинг экзогенных процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 2. – С.39-42.

16. *Шарапов Р.В.* Принципы мониторинга подземных вод // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 3. – С.27-30.

References

1. *Bondarik G.K., Pendin V.V., Jarg L.A.* Engineering Geodynamics – Moscow: KDU 2009. – 440 p.

2. GOST R 22.1.06-99. «Safety in emergencies. Monitoring and forecasting of hazardous geological phenomena and processes. General requirements» – Moscow: 1999.

3. *Dubrovkin V.L.* Karst study of new processes in seeking to track rail lines // Soviet Geology, 1948, № 35

4. *Kostarev V.P.* The quantitative indicators of karst and their use in engineering-geological assessment of karst territories // Engineering and construction surveying, 1979, № 1.

5. *Makeev Z.A.* The principles of engineering geological zoning of karst regions // Moscow Conference on Karst, vol. 4. – Molotov: Publication Molotov State University, 1948

6. *Maksimovic G.A.* Karst basics. Volume 1. – Perm: Perm Book Publishing House, 1963.

7. Guidelines on the organization and production of observation mode level, pressure and flow of groundwater. – M: VSEGINGEO, 1983.
8. Guidance on the production of observation mode, the temperature of groundwater. – M: VSEGINGEO, 1983.
9. Problems of studying caverns mountain regions of the USSR. – Tashkent: Fan Uzbek SSR, 1983. – 150 p.
10. Design, construction and operation of the roadbed in karst areas. – Moscow: Transport, 1968.
11. *Rodionov N.V.* Engineering-geological studies in karst areas. – Moscow: Gosgeoltechizdat, 1958.
12. Guidelines for geotechnical investigations in areas of karst. – Moscow: PNIIS, 1995. – 167p.
13. *Sevarensky I.A.* Engineering-geological assessment of karst phenomena in the area of Dzerzhinsk // Proceedings of the laboratory Giedre Geological Problems F.P. Savarensky, 1962, vol. 47.
14. *Tolmachev V.V.* Engineering and building development of karst territories / V.V. Tolmachev, G.M. Troitsky, V.P. Homenko; Ed. E.A. Sorochana. – M. Stroyizdat, 1986. – 176 p.
15. *Sharapov R.V.* Monitoring exogenous processes // Engineering industry and life safety. 2012, № 2. – P.39-42.
16. *Sharapov R.V.* Principles of groundwater monitoring // Engineering industry and life safety. 2012, № 3. – P.27-30.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2013 г.

Шарапов Руслан Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». E-mail: info@vanta.ru

Sharapov Ruslan Vladimirovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University. E-mail: info@vanta.ru