

УДК 551.435.8

Определение показателя интенсивности карстовых провалов по неполным данным*

Шарапов Р.В.

В работе рассматриваются вопросы определения показателя интенсивности карстовых провалов. Приводится методика определения интенсивности образования карстовых форм и провалов на основе расчетно-вероятностного метода. В реальных условиях на образование карстовых провалов оказывает влияние большое количество разнообразных природных и антропогенных факторов. Каждый фактор может меняться в достаточно широких пределах. Определенные сочетания факторов способны вызвать активизацию карстовых процессов, в то время как другие комбинации не способны вывести природную систему из равновесия. В работе изложена методика, позволяющая определять показатель интенсивности карстовых провалов по неполным данным. Для определения используются данные наблюдения за карстовыми процессами на исследуемой территории и данные наблюдения за территориями, имеющими аналогичные значения наиболее значимых факторов, приводящих к карстовым провалам.

Ключевые слова: интенсивность карстовых провалов, карст, карстовый провал.

Determination of karst collapse intensity from incomplete data

Sharapov R.V.

The paper deals with the definition of karst collapse intensity. The technique for determining the intensity of karst formation and collapse on the basis of calculation and probabilistic method is given. In reality, karst collapse formation is affected by a great variety of natural and anthropogenic factors. Each factor can vary quite widely. Certain combinations of factors can cause karst process activation, while other combinations are not able to bring the natural system out of balance. The paper describes a technique for determining karst collapse intensity from incomplete data. It uses karst processes monitoring data in the area and monitoring data of areas with similar values of the most significant factors leading to the karst collapses.

Keywords: karst collapse intensity, karst, karst collapse.

Введение

В связи с тем, что карстовые и суффозные процессы затрагивают в нашей стране большие территории, исключить которые из освоения и использования часто не представляется возможным, 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 [2, 5, 7, 10].

При наблюдении за карстовыми процессами активно используются различные показатели, характеризующие те или иные проявления исследуемых экзогенных процессов. Од-

ним из показателей, получивших широкое распространение, является показатель интенсивности карстовых провалов (форм). Он относится к группе количественных показателей карстовых процессов [9].

Показатель интенсивности карстовых провалов характеризует среднегодовое количество карстовых форм на 1 км² территории [1] и измеряется в шт/м²·год:

$$\lambda = \frac{n}{S \cdot t},$$

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

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-97510 р_центр_а.

Как можно заметить, показатель интенсивности карстовых провалов легко определяется для территорий, на которых ведутся систематические наблюдения за карстовыми процессами. К сожалению, в реальной практике чаще всего приходится иметь дело с неполными данными, полученными в ходе периодических наблюдений за небольшими участками территорий. Например, достаточно точную информацию по карстовым провалам можно собрать для хорошо освоенных территорий (населенные пункты, дорожная сеть, земли сельскохозяйственного назначения и т.д.). Для малоосвоенных территорий (например, лесных массивов) подобная информация может отсутствовать. Таким образом, возникают определенные сложности с определением показателя интенсивности карстовых провалов для территорий, содержащих слабо изученные участки.

Цель работы – рассмотреть вопросы определения показателя интенсивности карстовых провалов на исследуемой территории по неполным данным.

Метод определения показателя интенсивности карстовых провалов по неполным данным

В реальных условиях на образование карстовых провалов оказывает влияние большое количество разнообразных природных и антропогенных факторов. Каждый фактор может меняться в достаточно широких пределах. Определенные сочетания факторов способны вызвать активизацию карстовых процессов, в то время как другие комбинации не способны вывести природную систему из равновесия [6, 8, 10]. Несмотря на то, что каждая территория подвержена воздействию своего набора факторов, можно найти небольшие участки, характеризующиеся одинаковыми значениями основных воздействующих факторов. Это можно использовать для осуществления оценки карстовой опасности территории.

В работах [3, 4] предложена методика определения показателя интенсивности карстовых провалов в зависимости от сочетания значений природных факторов. В [3] показано, что распределение независимых между собой карстовых провалов на той или иной территории за определенный промежуток времени подчиняется закону Пуассона.

Показатель интенсивности карстовых провалов соответствует математическому ожиданию числа карстовых провалов на исследуемой территории за определенное время.

Пусть на протекание карстовых процессов оказывают влияние n факторов, слабо зависящих друг от друга. Тогда:

$$\lambda = \sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 + \sigma_{ocm}^2, \quad (1)$$

где σ^2 – дисперсия показателя интенсивности карстовых провалов, $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ – дисперсии, вызываемые n рассматриваемыми факторами, σ_{ocm}^2 – остаточная дисперсия.

В случае исследования площадей территории с одинаковым признаком того или иного фактора, можно составить выражения:

$$\begin{aligned} \lambda_{11} &= \sigma_{11}^2 = \sigma_{2-11}^2 + \sigma_{3-11}^2 + \dots + \sigma_{n-11}^2 + \sigma_{ocm-11}^2 \\ \lambda_{12} &= \sigma_{12}^2 = \sigma_{2-12}^2 + \sigma_{3-12}^2 + \dots + \sigma_{n-12}^2 + \sigma_{ocm-12}^2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (2)$$

$\lambda_{ij} = \sigma_{ij}^2 = \sigma_{1-ij}^2 + \sigma_{2-ij}^2 + \dots + \sigma_{n-ij}^2 + \sigma_{ocm-ij}^2$
 $\lambda_{nk} = \sigma_{nk}^2 = \sigma_{1-nk}^2 + \sigma_{2-nk}^2 + \dots + \sigma_{n-1-nk}^2 + \sigma_{ocm-nk}^2$
 где λ_{11} – математическое ожидание показателя интенсивности карстовых провалов на территории с признаком 1 фактора 1, σ_{11}^2 – дисперсия показателя интенсивности карстовых провалов на территории с признаком 1 фактора 1, λ_{ij} – математическое ожидание показателя интенсивности карстовых провалов на территории с признаком j фактора i , σ_{ij}^2 – дисперсия показателя интенсивности карстовых провалов на территории с признаком j фактора i , σ_{1-ij}^2 – дисперсия, вызывае-

мая изменчивостью признаков фактора 1 на площади территории с признаком j фактора i , σ_{ocm-ij}^2 – остаточная дисперсия на площади территории с признаком j фактора i .

Значения остаточных дисперсий можно представить выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_{ocm-11}^2 &= \sum_{h=1}^n \sigma_{h-11}^{-2} + \sigma_{np,11}^2, \\ \sigma_{ocm-12}^2 &= \sum_{h=1}^n \sigma_{h-12}^{-2} + \sigma_{np,12}^2, \\ &\dots \\ \sigma_{ocm-ij}^2 &= \sum_{h=1}^n \sigma_{h-ij}^{-2} + \sigma_{np,ij}^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где σ_{h-ij}^{-2} – усредненное значение дисперсии, возникающей вследствие изменчивости значений признаков фактора h внутри этих признаков на площади j признака i фактора, $\sigma_{np,ij}^2$ – дисперсия, вызываемая прочими неучтенными факторами.

В связи с тем, что различные факторы оказывают разное влияние на образование карстовых провалов, можно выделить n наиболее значимых факторов. Действие прочих факторов можно равномерно распределить среди первых слагаемых выражения (3). Тогда выражение принимает вид:

$$\sigma_{ocm-ij}^2 = \sum_{h=1}^n \sigma_{h-ij}^{*2} \quad (4)$$

Пусть A_{ij} – площадь распространения j признака i фактора, A_{hg-ij} – площадь территории совместного распространения g -го признака h фактора и j -го признака i фактора. Тогда

$$\sum_{g=1}^{k_h} A_{hg-ij} = A_{ij}$$

где k_h – количество признаков фактора h .

Усредненная дисперсия имеет вид:

$$\sigma_{hg-ij}^{-2} = \frac{1}{A_{ij}^2} \sum_{j=1}^{k_i} \sigma_{ij}^2 A_{hg-ij}^2 \quad (5)$$

Пусть $A_{hg-ij} / A_{ij} = \alpha_{hg-ij}$, тогда (5) примет вид:

$$\sigma_{hg-ij}^{-2} = \sum_{j=1}^{k_i} \sigma_{ij}^2 \alpha_{hg-ij}^2 \quad (6)$$

Тогда (3) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{ocm-11}^2 &= \sigma_{11}^2 + 0 \cdot \sigma_{12}^2 + \dots + \alpha_{11-nk}^2 \cdot \sigma_{1h}^2 \\ \sigma_{ocm-12}^2 &= 0 \cdot \sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2 + \dots + \alpha_{12-nk}^2 \cdot \sigma_{1h}^2 \\ &\dots \\ \sigma_{ocm-nk}^2 &= \alpha_{nk-11}^2 \cdot \sigma_{11}^2 + \alpha_{nk-12}^2 \cdot \sigma_{12}^2 + \dots + \sigma_{1k}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Количество уравнений равно сумме числа признаков факторов: $k = \sum_{i=1}^n k_i$, где k_i –

количество признаков фактора i .

В итоге получена система из k линейных уравнений с k неизвестными. Значения σ_{h-ij}^2 находятся методами дисперсионного анализа [11]. $\sigma_{ocm-11}^2, \sigma_{ocm-12}^2, \dots, \sigma_{ocm-nk}^2$ находятся из выражения (2):

$$\sigma_{ocm-ij}^2 = \lambda_{ij} - \sum_{x=1}^n \sigma_{x-ij}^2 \quad (8)$$

Решив систему уравнений (7), можно найти математическое ожидание показателя интенсивности карстовых провалов λ при сочетании различных природных факторов используя свойство дисперсии (1):

$$\lambda = \sum_{i,j} \sigma_{ij}^2 \quad (9)$$

Заключение

Предложенный метод определения показателя интенсивности карстовых провалов может использоваться для территорий, на которых ведется систематическое наблюдение за протеканием карстовых процессов. При этом должны приниматься в рассмотрение все значимые факторы, влияющие на развитие карстовых процессов. Предложенный метод использует данные наблюдения за карстовыми процессами как на исследуемой территории

(возможно неполные), так и данные наблюдения за территориями, имеющими аналогичные значения наиболее значимых факторов, приводящих к карстовым провалам.

Метод может использоваться для оценки закарстованных территорий, том числе имеющих небольшую площадь, малую частоту образования карстовых провалов и малое время наблюдения. В этом случае за время наблюдения на исследуемой территории может не произойти ни одного провала и расчет показателя интенсивности карстовых провалов традиционными методами даст величину "0". Использование вышеизложенного метода позволяет более точно определить значение показателя, опираясь на данные наблюдения аналогичных территорий.

Тем не менее, для успешного применения метода необходимо предельно точно выявить перечень и признаки всех факторов, оказывающих влияние на протекание карстовых процессов.

Литература

1. *Макеев З.А.* Принципы инженерно-геологического районирования карстовых областей // Московская конференция по карсту, вып. 4. – Молотов: Издание Молотовского государственного университета, 1948.
2. *Максимович Г.А.* Основы карстологии. Том 1. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1963.
3. *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.
4. *Толмачев В.В.* О методике количественной оценки природных факторов, влияющих на образование карстовых провалов. Сб.науч.тр. / МИИТ, 1968, вып. 273.
5. *Шарапов Р.В.* Мониторинг экзогенных процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 2. – С.39-42.

6. *Шарапов Р.В.* Некоторые вопросы применения новых информационных технологий при моделировании чрезвычайных ситуаций // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2008, № 5. – С.62-66.

7. *Шарапов Р.В.* Некоторые вопросы мониторинга экзогенных процессов // Фундаментальные исследования, 2013, № 1-2. – С. 444-447.

8. *Шарапов Р.В.* Обзор подходов к моделированию чрезвычайных ситуаций // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 1. – С.39-41.

9. *Шарапов Р.В.* Показатели наблюдения и оценки карстовых процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2013, № 1. – С.28-34.

10. *Шарапов Р.В.* Размышления об эколого-геологических системах // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 2013, Т. 18, № 3. – С. 918-922.

11. *Шеффе Г.* Дисперсионный анализ – М.: Наука, 1980. – 512 с.

References

1. *Makeev Z.A.* The principles of engineering geological zoning of karst regions // Moscow Conference on Karst, vol. 4. – Molotov: Publication Molotov State University, 1948.
2. *Maksimovic G.A.* Karst basics. Volume 1. – Perm: Perm Book Publishing House, 1963.
3. *Tolmachev V.V.* Engineering and building development of karst territories / V.V. Tolmachev, G.M. Troitsky, V.P. Homenko; Ed. E.A. Sorochana. – Moscow: Stroyizdat, 1986. – 176 p.
4. *Tolmachev V.V.* On the method of quantitative assessment of environmental factors affecting the formation of karst failures. Processing of MIIT, 1968, vol. 273.
5. *Sharapov R.V.* Monitoring exogenous processes // Engineering industry and life safety, 2012, № 2. – P.39-42.

6. *Sharapov R.V.* Some of the application of new information technologies in the simulation of emergency situations // *Engineering industry and life safety*, 2008, № 5. – P.62-66.

7. *Sharapov R.V.* Some problems of exogenous processes monitoring // *Fundamental research*, 2013, № 1-2. – P. 444-447.

8. *Sharapov R.V.* Review of approaches to modeling emergency situations // *Engineering industry and life safety*, 2012, № 1. – P.39-41.

9. *Sharapov R.V.* Indicators for monitoring and assessment of karst processes // *Engineering industry and life safety*, 2013, № 1. – P.28-34.

10. *Sharapov R.V.* Reflections on ecological and geological systems // *Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*, 2013, Vol 18, № 3. – P. 918-922.

11. *Scheffe H.* The analysis of variance – Moscow: Science, 1980. – 512 p.

Статья поступила в редакцию 25 мая 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