

### **Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий (на примере г. Кунгур)**

Щербаков С.В., Золотарев Д.Р.

ПГУ, кафедра инженерной геологии и охраны недр

Научный руководитель: Дублянская Г.Н.

Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий относительно провалов и оседаний земной поверхности – важнейшая задача инженерно-геологических изысканий в карстовых районах. Достоверное прогнозирование возможно только в результате комплексных исследований условий, закономерностей, интенсивности и истории развития карста и связанных с ним провалов и оседаний [2].

Оценка и прогнозирование устойчивости территории г. Кунгур произведена методом удаленности от ближайшего поверхностного карстопоявления по несколько модифицированной методике И.А. Саваренского [1, 3]. Данная методика основана на анализе пространственного распределения поверхностных карстопоявлений и их особенности группироваться в карстовые поля.

Поверхностные карстопоявления на территории г. Кунгур представлены современными образованиями – провалами, и древними – воронками. В пределах города по состоянию на 2006 г. обнаружено 393 карстовых провала и 408 воронок, всего на территории города отмечено 801 шт. поверхностных карстопоявлений.

Прогнозная оценка устойчивости территории г. Кунгур произведена отдельно по провалам (392 шт.) и по воронкам (408 шт.), и по провалам и воронкам вместе (800 шт.). Один провал (№ 195) был исключен из рассмотрения, по причине чрезмерной удаленности от общей группы.

Выполнение работ по прогнозированию и оценке устойчивости проводилось поэтапно.

На первом этапе были построены вспомогательные карты с нанесением *изолиний удаленности*  $R$ , равных 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 500, 750 и 1000 м. Этими изолиниями оконтуривались *зоны*, в пределы которых попадало два и более поверхностных карстопроявления (рис. 1).

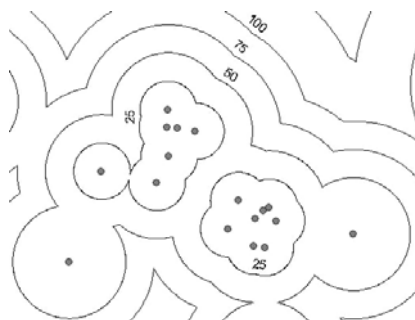


Рис. 1. Построение изолиний удаленности от ближайшего поверхностного карстопроявления

В пределах каждой из зон, образованной той или иной изолинией удаленности определялись: ее площадь  $S$ , количество попавших в ее пределы поверхностных карстовых форм  $N$ , частота их попадания  $P$ , интенсивность провалообразования  $\lambda$ , средний диаметр  $d$  и средняя площадь  $s$  поверхностных карстопоявлений, а также суммарная площадь  $\Sigma s$  поверхностных карстопоявлений. Отдельно подобная статистика определялась также для *интервалов удаленности* – участков, заключенных между двумя соседними зонами.

Показатель интенсивности провалообразования из теоретических соображений целесообразно было бы определять только по данным о карстовых провалах. В данной же работе определение этого показателя произведено как для провалов и воронок по отдельности, так и для провалов и воронок вместе. Причем период времени  $t$  для его расчета был принят равным 56 годам, что соответствует промежутку времени от начала стационарных наблюдений за процессами провалообразования Кунгурской лабораторией-стационаром ГИ УрО РАН до 2006 г. включительно. Расчетная формула для его определения

несколько видоизменена и для каждой зоны и каждого интервала удаленности имеет следующий вид:

$$\lambda = \frac{N \cdot (1 - P)}{t \cdot S}$$

Заметим, что эта формула отличается от той, что предлагает использовать И.А. Саваренский [3]. Авторы работы считают, что целесообразнее при определении показателя интенсивности провалообразования в числителе использовать величину  $(1 - P)$ , вместо предлагаемой И.А. Саваренским частоты  $P$ . Данная величина –  $(1 - P)$  – которую предлагается называть *надежностью* зоны или интервала удаленности, по мнению авторов, наиболее объективно отражает природу карста и вносит дополнительный запас при расчете интенсивности провалообразования, искусственно завышая его значения на удаленностях, превышающих 100 м.

В результате расчетов построены графики зависимости изменения интенсивности провалообразования от удаленности отдельно по зонам и по интервалам удаленности. Пример построения таких графиков приведен на рисунке 2.

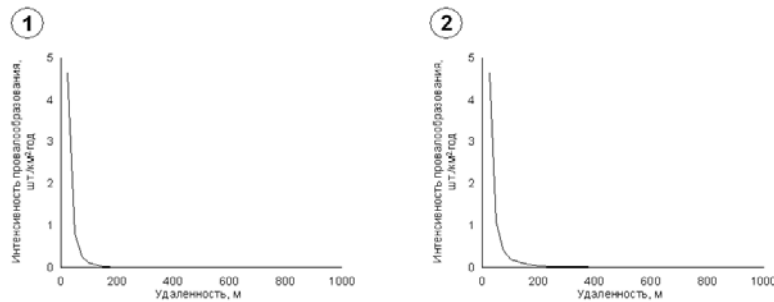


Рис. 2. Графики изменения интенсивности провалообразования, рассчитанной по 800 карстовым провалам и воронкам: 1 – по зонам удаленности; 2 – по интервалам удаленности

Наблюдающаяся по графикам зависимость весьма близка к степенной  $\lambda = a \cdot e^{b \cdot R}$ . Для удобства прогнозирования,

степенная функция в результате логарифмирования приведена к линейному виду:

$$\lg \lambda = \lg a + b \cdot R \cdot \lg e \Rightarrow \lg \lambda = A + B \cdot R, \text{ где } A = \lg a, \\ B = b \cdot \lg e$$

Коэффициенты  $A$  и  $B$  линейной зависимости  $\lg \lambda = A + B \cdot R$  определены по методу наименьших квадратов.

Наиболее оптимальные уравнения для прогноза устойчивости территории г. Кунгур получились для интервалов удаленности – промежутков между изолиниями удаленности. Эти уравнения следующие:

1) по 392 провалам:  $\lg \lambda_{\Delta R} = -0,004 \cdot R - 0,105$

2) по 408 воронкам:  $\lg \lambda_{\Delta R} = -0,004 \cdot R - 0,175$

3) по 800 провалам и воронкам:  
 $\lg \lambda_{\Delta R} = -0,004 \cdot R - 0,143$

С использованием выведенных уравнений были определены границы удаленности между числовыми категориями устойчивости по интенсивности провалообразования, предлагаемыми в [4]. Полученный результат отражен в таблице.

Таблица

Категории устойчивости, выделенные по интенсивности провалообразования, рассчитанной по методу удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста

Категории устойчивости	Граница между категориями устойчивости	Удаленность по провалам	Удаленность по воронкам	Удаленность по провалам и воронкам
I и II	1	26	41	35
II и III	0,1	219	193	208
III и IV	0,05	293	263	280
IV и V	0,01	464	426	450

Анализируя таблицу, видно, что колебание границ категорий устойчивости, выделенных по удаленности составляет 15-38 м. Соответственно, граничные значения

категорий устойчивости, полученные по удаленности провалов и воронок вместе представляют собой осредненный результат.

По приведенным в таблице данным построена карта устойчивости территории г. Кунгур по удаленности от ближайшего поверхностного карстопроявления. При ее построении были использованы границы удаленности, полученные по данным о пространственном распределении 800 провалов и воронок.

Подобная методика может быть использована не только при определении устойчивости закарстованных территорий, но и при прогнозировании ее изменения. При помощи электронных таблиц Microsoft Excel, реализован разработанный И.А. Саваренским алгоритм расчета. В нем можно с легкостью изменять информацию о количестве поверхностных карстопоявлений, зафиксированных в пределах той или иной зоны удаленности и количество лет, используемых при расчете интенсивности провалообразования. В результате, программа в автоматизированном режиме заново пересчитывает прогнозные уравнения и выдает новые границы категорий устойчивости по интенсивности провалообразования, полученные на основе этих уравнений. Это дает возможность не только предоставления оперативного прогноза изменения устойчивости территории, но и постоянного мониторинга за ее изменением во времени.

#### *Литература*

1. *Саваренский И.А.* Детальный анализ неравномерности распространения развития карста на примере г. Дзержинска Горьковской области // Инженерные изыскания в строительстве, № 6 (59), Москва, 1977, с. 41-43.
2. *Саваренский И.А.* Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий // Свойства грунтов и инженерно-геологические процессы. Москва, Наука, 1987, с. 45-53.
3. *Саваренский И.А.* Прогноз устойчивости территории методом удаленности от ближайшего проявления карста // Прогноз изменения инженерно-геологических условий при строительстве. Москва, 1990, с. 108-118.
4. *СП 11-105-97.* Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: ПНИИИС. 2001. 101 с.