

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЙ И ИХ МОРФОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТЕКТОНИКИ**

**Д.Р. Золотарев**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь,  
ул. Букирева, 15. E-mail: deniszolotarev@bk.ru

На современном этапе развития карстоведения все большее внимание устремлено на прогнозирование развития карстового процесса, выражающегося возникновением форм карста. В первую очередь это является актуальной задачей для территорий, планируемых для хозяйственной деятельности человека. Однако и для таких карстовых регионов, как Пермский край, существуют территории с минимальной карстологической изученностью. Одной из таких территорий является неосвоенная часть Полазненского полуострова. На урбанизированных территориях Пермского края, характеризующихся повсеместным распространением карстующихся пород, остро стоит задача определения морфометрических характеристик форм карста. Наиболее проблематичной городской территорией, страдающей от негативных последствий развития карста является г. Кунгур.

Карстологический прогноз при современных методиках можно осуществлять на основе различных факторов развития карста, так и их совокупности. Для территорий со слабой карстологической, инженерно-геологической, гидрогеологической изученностью неоспоримые преимущества предоставляет линеаментный анализ. При использовании данных линеаментной тектоники большое значение имеет методика дешифрирования линеаментов, а также коэффициенты или показатели, вводимые с целью выявления особенностей строения поля линеаментов с их последующим сопоставлением с формами карста. В качестве решения данной цели автором были использованы показатели линейной плотности, количества пересечений, удаленности от линеамента и узловой удаленности [1, 2].

В анализе также участвовали зоны дробления карстующихся пород, сами по себе не являющиеся формами карста, но перспективные в плане полостеобразования. Для разнопланового сопоставления данные линеаментные показатели и морфометрические показатели карстовых форм (средний диаметр поверхностных форм карста, вертикальные мощности подземных карстовых форм) приводятся к общему виду посредством их нормализации. Для осуществления этой процедуры максимальные значения линеаментных показателей устанавливаются не в пределах изучаемой площади, а в местах локализации карстопроявлений. Такой подход к выделению максимумов позволяет устанавливать более точные связи и зависимости, так как линеаментные показатели, выраженные в числовой форме, непосредственно сопоставляются с кар-

стовыми формами и показателями их морфометрии. Расчетная формула для оценки индексных значений в данном случае имеет следующий вид:

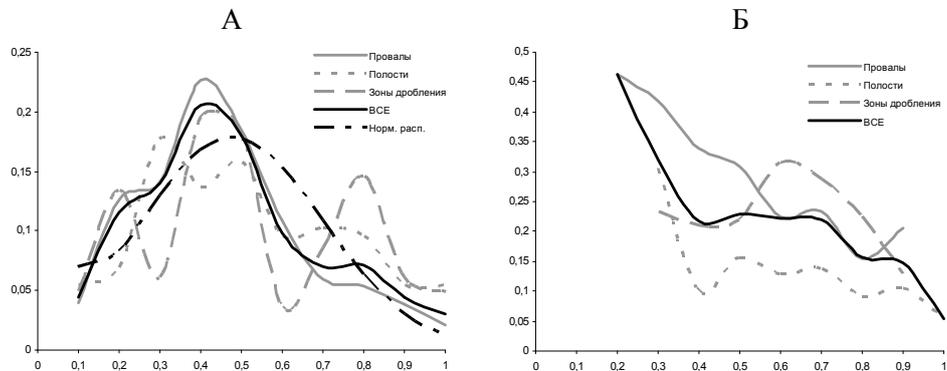
$$Ix_i = \frac{x_i}{\max x},$$

где  $Ix_i$  – индексная оценка  $i$ -го значения показателя  $x$ , д.е.

В результате сопоставления картографических цифровых моделей исследуемых показателей линейментов, определяются их максимальные значения в местах локализации карстопроявлений. Такие максимумы используются при оценке индексных значений показателей [3].

В результате дифференцировано по каждому из типов карстовых форм построены двухмерные облака точек, характеризующие зависимость морфометрических параметров карстовой формы от значений показателей природной среды. Переход к индексной форме выражения показателей природных условий и морфометрических параметров карстовых форм позволяет сопоставлять различные карстовые формы друг с другом и производить их совместный анализ (рис. 1Б).

Количественное распределение карстовых форм по показателям линейментов выражается в графической форме в виде гистограмм. По оси абсцисс откладываются индексные значения показателей линейментной тектоники, а по оси ординат – частота встречаемости морфометрических показателей карстовых форм в равных интервалах значений исследуемых показателей (рис. 1А).



**Рис. 1. А – частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений узловой удаленности (ось X); Б – средние диаметры и высоты карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений линейной плотности линейментов (ось X), выраженной в индексной форме, в пределах территории Полазненского п-ова (А), г. Кунгура (Б)**

Дальнейшие закономерности обрабатываются с целью прогнозирования морфометрических параметров карстопроявлений в зависимости от значений показателей линейментов. Для этого используются установленные

тренды соответствующих зависимостей. Отличительной чертой практических всех выявленных трендов является изменчивость средних индексных оценок морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм практически в одних и тех же диапазонах. Кроме того, в большинстве случаев, выявленная направленность изменчивости морфометрии поверхностных карстовых форм в зависимости от значений показателей линейных элементов повторяет таковую и для подземных. Расхождения трендов различных карстопоявлений наблюдаются в единичных случаях и обычно приурочены к конкретным исследуемым участкам.

По установленному тренду изменчивости средних значений морфометрических параметров карстовых форм для каждого из исследуемых линейных показателей подбирается вид прогнозной кривой наблюдаемой зависимости, определяется ее уравнение. Прогнозная кривая подбирается аналитическим методом в результате вычленения из общего облака точек как можно большего количества тех из них, которые в максимальной степени «ложатся» на выявленный тренд. Для этого используется Microsoft Office Excel и встроенный в него язык программирования Visual Basic for Applications, в среде которых был разработан алгоритм [3], позволяющий в автоматизированном режиме с учетом указанного экспертом тренда и характера зависимости (линейная, экспоненциальная, степенная или логарифмическая) выстраивать наиболее оптимальную прогнозируемую кривую. Основными условиями, заложенными в алгоритм, являлись необходимость построения прогнозной кривой не менее чем по 20-30% данных от первоначальной исследуемой совокупности и уровень корреляции рассматриваемых величин, превышающий 0,8.

Прогнозные уравнения для расчета индексных значений морфометрических параметров карстовых форм в зависимости от принятого к рассмотрению тренда и характера зависимости имеют следующий вид:

$$I = ax + b \text{ – линейная зависимость,} \quad (1.1)$$

$$I = a \ln x + b \text{ – логарифмическая зависимость,} \quad (1.2)$$

$$I = a \cdot e^{bx} \text{ – экспоненциальная зависимость,} \quad (1.3)$$

$$I = a \cdot x^b \text{ – степенная зависимость,} \quad (1.4)$$

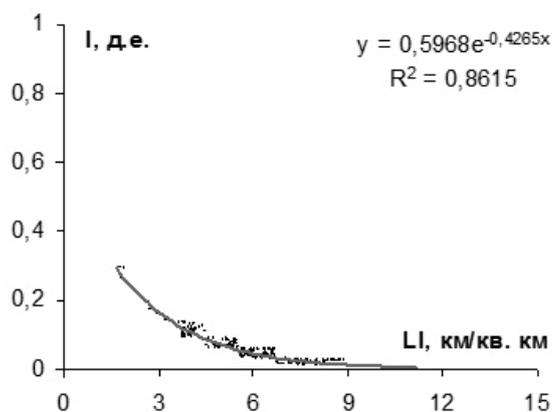
где  $I$  – прогнозный индекс морфометрии, д.е.;  $x$  – исследуемый показатель природного строения, выраженный в истинной форме;  $a$  и  $b$  – коэффициенты прогнозного уравнения.

Пример результата интерпретации морфометрических трендов представлен в виде прогнозной кривой (рис. 2). Коэффициенты прогнозных уравнений и характер прогнозных зависимостей представлен в табл. 1. На основе коэффициентов прогнозных уравнений возможно составление прогнозных карт морфометрических характеристик карстовых форм и вероятностей образования карстовых форм.

Таблица

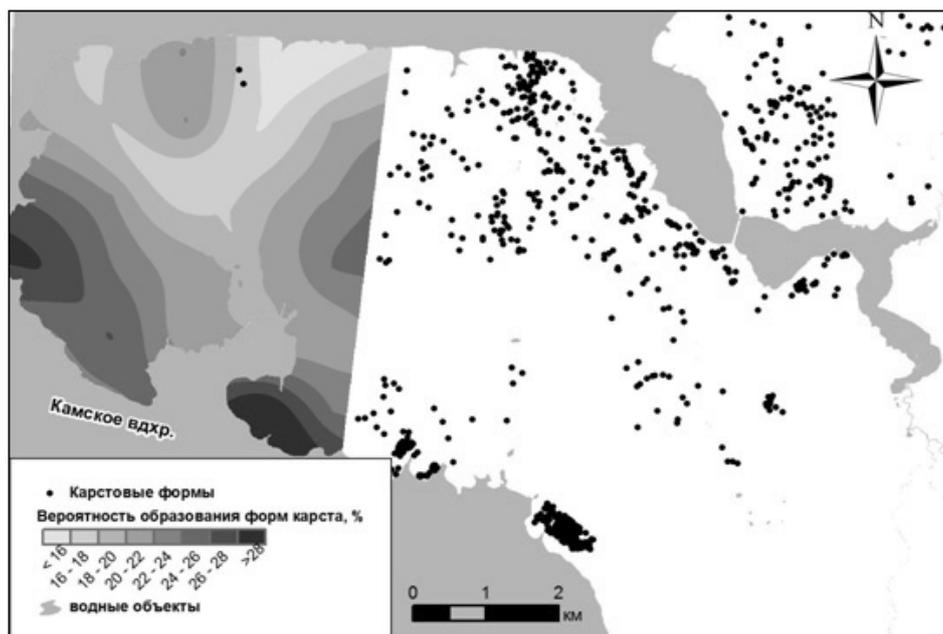
**Параметры распределений и зависимостей для прогнозирования вероятности образования и индекса морфометрических параметров карстовых форм по показателям природного строения**

Показатели линеamentной тектоники	Максимальное значение	Прогноз вероятности образования карстовых форм *				Прогноз морфометрических характеристик карстовых форм в индексном выражении		
		Параметры теоретического закона распределения		Закон распределения	Коэффициенты прогнозного уравнения		Характер зависимости	
		среднее $x_{cp}$	стандартное отклонение $\sigma$		$a$	$b$		
<i>г. Кунгур</i>								
Линейная плотность линеamentов, км/км <sup>2</sup>	$L_L$	11,2	-0,70	0,33	логнормальный	0,5968	-0,4265	экспоненциальная
Количество пересечений линеamentов, шт./км <sup>2</sup>	$K_L$	31,8	-1,60	1,02	логнормальный	0,5171	-0,1437	экспоненциальная
Удаленность от линеamentов, м	$U_L$	347,0	0,23	0,20	нормальный	-	-	-
Узловая удаленность, м	$U_U$	748,6	0,33	0,75	нормальный	-	-	-
<i>Полазненский полуостров</i>								
Линейная плотность линеamentов, км/км <sup>2</sup>	$L_L$	14,7	0,69	0,14	нормальный	-	-	-
Количество пересечений линеamentов, шт./км <sup>2</sup>	$K_L$	70,7	0,44	0,18	нормальный	-	-	-
Удаленность от линеamentов, м	$U_L$	192,1	0,23	0,20	нормальный	-	-	-
Узловая удаленность, м	$U_U$	331,9	0,43	0,22	нормальный	-	-	-



**Рис. 2. Прогнозные кривые для оценки морфометрических параметров карстовых форм территории г. Кунгура по показателю линейной плотности линеamentов**

Урбанизированные территории Полазненского полуострова в последние годы характеризуются расширением своих границ. Следовательно, на западную часть полуострова актуальны прогнозные мероприятия карстологического характера. Примером проведенных исследований является прогнозная картографическая модель вероятности образования форм карста в зависимости от всех рассматриваемых показателей линейной тектоники (рис. 3).



**Рис. 3. Вероятность образования поверхностных форм карста на западной части Полазненского полуострова**

#### Литература

1. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н., Щербаков С.В. Соотношение закарстованности и линейных поднятий в пределах Полазненского локального поднятия // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы юбил. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию геол. ф-та и 95-летию Перм. ун-та / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2011. – С. 153-155.
2. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Анализ соотношения структурно-тектонического строения и закарстованности в пределах Полазненской локальной структуры // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2012. – Т. 154. – Кн. 3. – С. 1-9.
3. Щербаков С.В. Методика изучения взаимосвязей между карстовыми формами и природными условиями территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. [Адрес в сети Интернет: [www.science-education.ru/105-7232](http://www.science-education.ru/105-7232)] (дата обращения: 23.10.2012).