

УДК 624.131.1

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Золотарев Д. Р.

*ГОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: [deniszolotarev@bk.ru](mailto:deniszolotarev@bk.ru)*

На закарстованных территориях Пермского края, характеризующихся различными геоструктурными обстановками, проведен линеаментный анализ на основе показателей, оценивающих конфигурацию линеаментного рисунка в плане. Карстовый процесс сопоставлялся с линеаментами через свои типичные формы: воронки, провалы, полости, поля. Также учтены зоны дробления карстового массива. Оценивались распределения форм карста относительно линеаментных сетей и воздействие последних на морфометрические характеристики карстовых форм. При этом обнаружилось тесные связи линеаментов и карстовых форм в пределах разных территорий. Методика проведения анализа включала индексное выражение показателей с целью удобного сопоставления разных карстовых форм и показателей. На основе полученных результатов даны прогнозные уравнения морфометрии форм карста в зависимости от линеаментов. Результаты исследования также показывают, что линеаменты вполне пригодны для оценки карстовой опасности. Работа выполнена в рамках международного проекта «Развитие методологии риск-анализа хозяйственного освоения и оценки уязвимости подземных вод закарстованных территорий», финансируемого Министерством образования Пермского края из средств краевого бюджета.

Ключевые слова: карстовые формы, линеаменты, линеаментные показатели, морфометрические характеристики, распределения карстовых форм.

## THE RESULTS OF LINEAMENT ANALYSIS ON THE KARST AREAS OF PERMSKY KRAI

Zolotarev D. R.

*Perm State National Research University, Perm, Russia (614990, street Bukireva, 15), e-mail: [zolotarevdr@gmail.com](mailto:zolotarevdr@gmail.com)*

The lineament analysis of the karst regions of Perm sky krai, characterized different geos t r u c t u r a l situations, have done on the base of lineament indexes which estimate the lineament configuration on the plan. Karst process compared with lineaments through own typical forms: sinkhole, cones and cavities. Also was analyzed the breaking zones of karst massif. It was estimated the distribution of karst forms in regard to lineament nets and influence of its on morphometric parameters of karst forms. The correlations between karst forms, its morphometry and lineaments are done. The technique of analysis included index expression of parameters for handy comparison karst forms and parameters. The prognostic equations of the karst form morphometry underneath lineaments on the base of results are done. The research results also shows that lineaments can be applicable to the estimation of karst hazard. The research is executed within the international project «Methodology development risk-analysis of economic development and estimation of vulnerability of ground waters in karst areas» financed by the Ministry of Education of Perm sky krai from means of the regional budget.

Keywords: karst forms, lineaments, lineament parameters, morphometric parameters, distribution of karst forms.

Территория Пермского края административно привязана к району сочленения различных геоструктурных обстановок: платформенных, горно-складчатых и переходных (краевых прогибов). Кроме того, важнейшей геологической особенностью восточной части края является распространение основных литологических типов карста.

Для оценки возможного воздействия линеаментных сетей на генерацию форм карста и их морфометрию в пределах разных геоструктурных областей и территорий с дифференцированными литологическими типами карста рассматривались следующие районы (рис. 1):

1. Главная Кизеловская антиклиналь (горно-складчатая область, карбонатный карст);
2. Полазненский полуостров (платформенная область, карбонатно-сульфатный карст);
3. г. Кунгур (зона краевых прогибов, карбонатно-сульфатный карст);
4. Уфимское плато (зона краевых прогибов, карбонатно-сульфатный карст).

Территория города Кунгура, частично расположенная на северо-западной части Уфимского плато, включена в состав исследуемых районов в силу многолетних карстологических наблюдений, обширного материала по строению карстового массива.

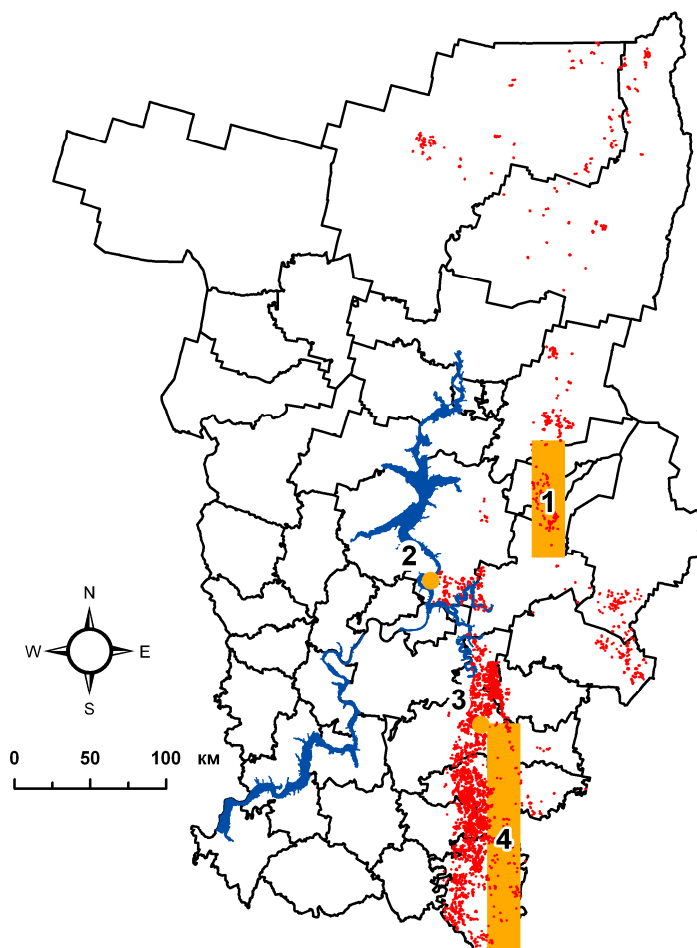


Рис. 1. Схема расположения исследуемых объектов Пермского края: 1 – Главная Кизеловская антиклиналь; 2 – Полазненский полуостров; 3 – г. Кунгур; 4 – Уфимское плато. Красными точками обозначены карстовые поля, синими полигонами – водные объекты

Контроль линеаментов над генерацией форм карста и их возможное влияние на морфометрические характеристики форм обусловлены в основном самой физической природой линеаментов. Разломно-разрывные сети, тектоническая и планетарная трещиноватость, пространственно хорошо совпадаемые в пространстве, а зачастую и в количественном отношении с линеаментами, позволяют применять линеаментный анализ на закарстованных территориях.

Анализ воздействия линеаментов на карст осуществлен автором через набор показателей конфигурации линеаментной сети с последующей возможностью прогнозирования на их основе морфометрических характеристик карстовых форм.

Конфигурация линеаментов в плане позволяет выйти на их два структурных элемента: осевую часть линеаментов и узловую структуру линеаментов, то есть место их пересечения.

Исходя из этого рассмотренными показателями являются:

1. *Линейная плотность линеаментов  $L_L$ , км/км<sup>2</sup>.*
2. *Количество пересечений линеаментов  $K_L$ , шт./км<sup>2</sup>.*
3. *Блочность  $B$ , км<sup>2</sup>.*
4. *Удаленность от линеамента  $U_L$ , м.*

Примеры построения карт данных показателей приведены на рис. 2.

Методика, применяемая в данной работе, подразумевает индексное выражение показателей, получаемое путем деления частного значения показателя на ее максимум в месте локализации формы карста [4, 5]. Из табл. 1, в которой приведены данные максимумы, косвенно видно, что наиболее геодинамически активной территорией является площадь, занимаемая Полазненским полуостровом, наиболее стабильным регионом служит Уфимское плато.

Таблица 1. Максимальные значения линеаментных показателей в пределах исследуемых территорий в местах локализации карстовых форм

<i>Линеаментный показатель</i>	<i>Исследуемая территория</i>			
	<i>г. Кунгур</i>	<i>Полазненский п-ов</i>	<i>ГКА</i>	<i>Уфимское плато</i>
$L_L$ , км/км <sup>2</sup>	11,2	14,7	10,1	9,4
$K_L$ , шт./км <sup>2</sup>	31,8	70,7	29,0	28,6
$B$ , км <sup>2</sup>	2,19	0,36	3,73	11,0
$U_L$ , м	347,0	192,1	536,0	725,6
$U_U$ , м	748,6	331,9	1033,5	2534,6

Из карстовых форм на рассматриваемых регионах рассмотрены воронки с провалами, объединенные в одну генетическую группу, и подземные карстовые полости, выявленные инженерно-геологическим, карстологическим бурением. Также в анализе участвовали потенциально ослабленные места карстового массива – зоны дробления. Для пород зон дробления характерна высокая степень выветрелости, сильная раздробленность трещинами, рыхляковое состояние. Количественная характеристика карстовых форм и зон дробления по районам отражены в табл. 2.

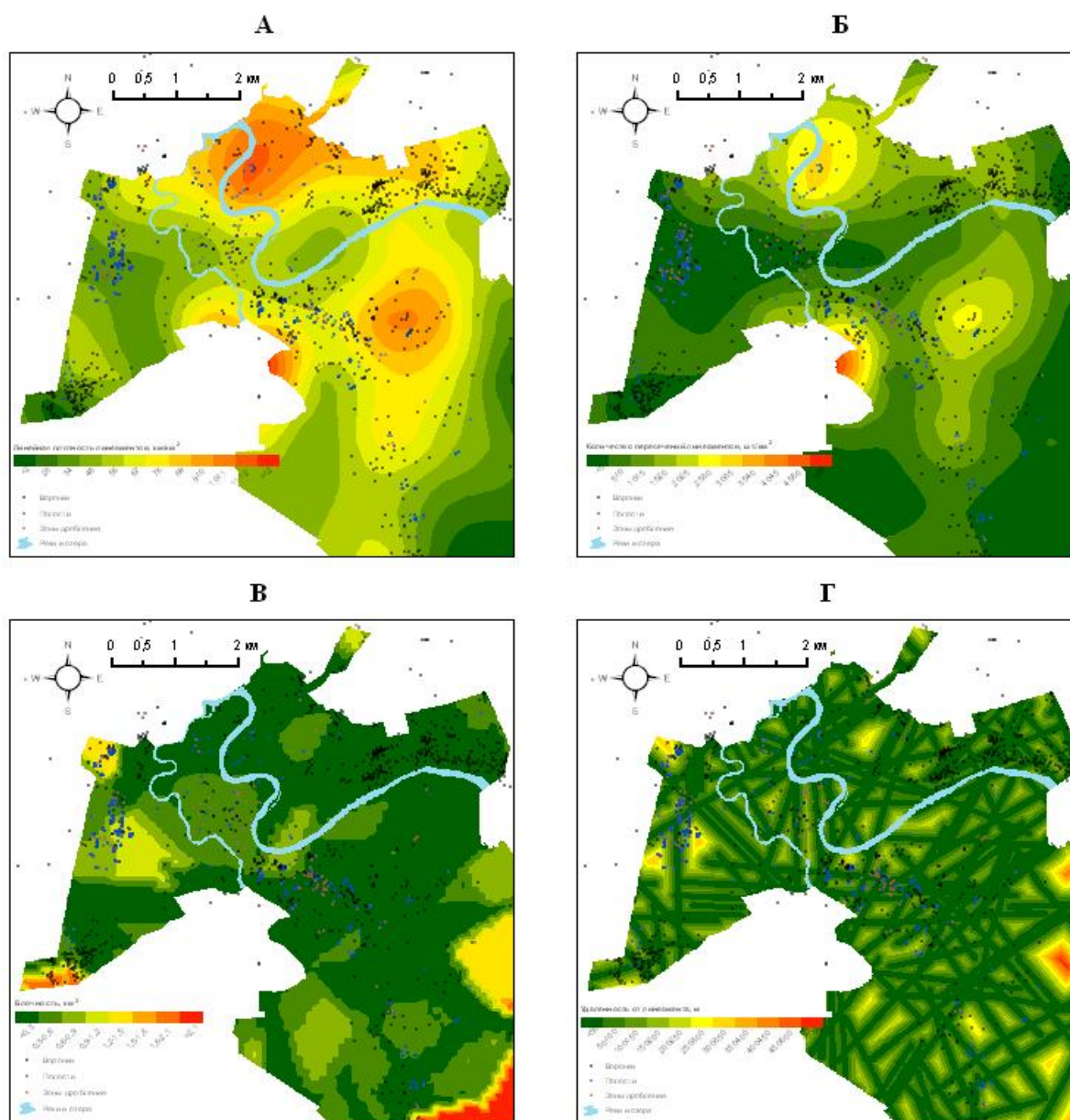


Рис. 2. Карты линейментных показателей в пределах г. Кунгура: А – линейная плотность линейментов, Б – количество пересечений линейментов, В – блочность, Г – удаленность от линеймента, Д – узловая удаленность

Таблица 2. Исследованные карстовые формы в пределах изучаемых территорий

Карстовые формы, шт.	Исследуемая территория				
	г. Кунгур	Полазненский п-ов	ГКА	Уфимское плато	Сумма
Поля	22	7	537	231	797
Воронки и провалы	774	524	2618	1688 (90)	5604
Полости	508	146	-	128	782
Зоны дробления	372	82	-	221	675

\* для карстовых полей и воронок ГКА диаметры не определены, в скобках – количество карстовых форм с данными морфометрии.

Следует отметить, что интенсивность закарстованности Уфимского плато выше, чем территории Главной Кизеловской антиклинали, однако имеющиеся данные позволили выделить большее количество поверхностных карстовых форм в пределах ГКА.

Аналогично с линеаментными показателями морфометрия карстовых форм и зон дробления согласно действующей методике также приводилась к индексному виду. При этом для поверхностных форм карста в расчет принимается средний диаметр, полученный осреднением длины и ширины формы, для подземных форм – вертикальная мощность.

Максимумы морфометрических характеристик карстовых форм и зон дробления приведены в табл. 3.

Таблица 3. Максимальные значения морфометрических параметров карстовых форм и зон дробления на рассматриваемых территориях

<i>Карстовая форма</i>	<i>Исследуемая территория</i>		
	<i>г. Кунгур</i>	<i>Полазненский п-ов</i>	<i>Уфимское плато</i>
Воронки (диаметр, м)	35,7	100,0	90,0
Полости (высота, м)	17,8	18,0	31,7
Зоны дробления (высота, м)	13,8	21,0	17,8

Обобщенные результаты линеаментного анализа выражаются в следующем: карстовые формы тяготеют к меньшим средним значениям линейной плотности линеаментов. Их количество также убывает по мере уменьшения количества пересечений линеаментов. Эта тенденция обусловлена пиковыми значениями показателя  $K_L$ , то есть незначительной площадью развития средних и максимальных интервалов данного показателя [2,3]. Значительная часть карстовых форм сосредоточена на блоках, ограниченных линеаментами, с незначительной площадью, что говорит о том, что зоны трещиноватости линеаментов полностью перекрывают такие блоки, что способствует развитию карстовых форм. Это также и подтверждено простейшей удаленностью от линеаментов (рис. 3) [1].

Схема изменения морфометрии по карстовым формам отражает следующие моменты (рис. 4): при сгущении линеаментов и их пересечений наблюдаются незначительные по размерам карстовые формы, а по мере удаления от линеаментов и увеличения площадей блоков, ограниченных линеаментами, их морфометрия возрастает.

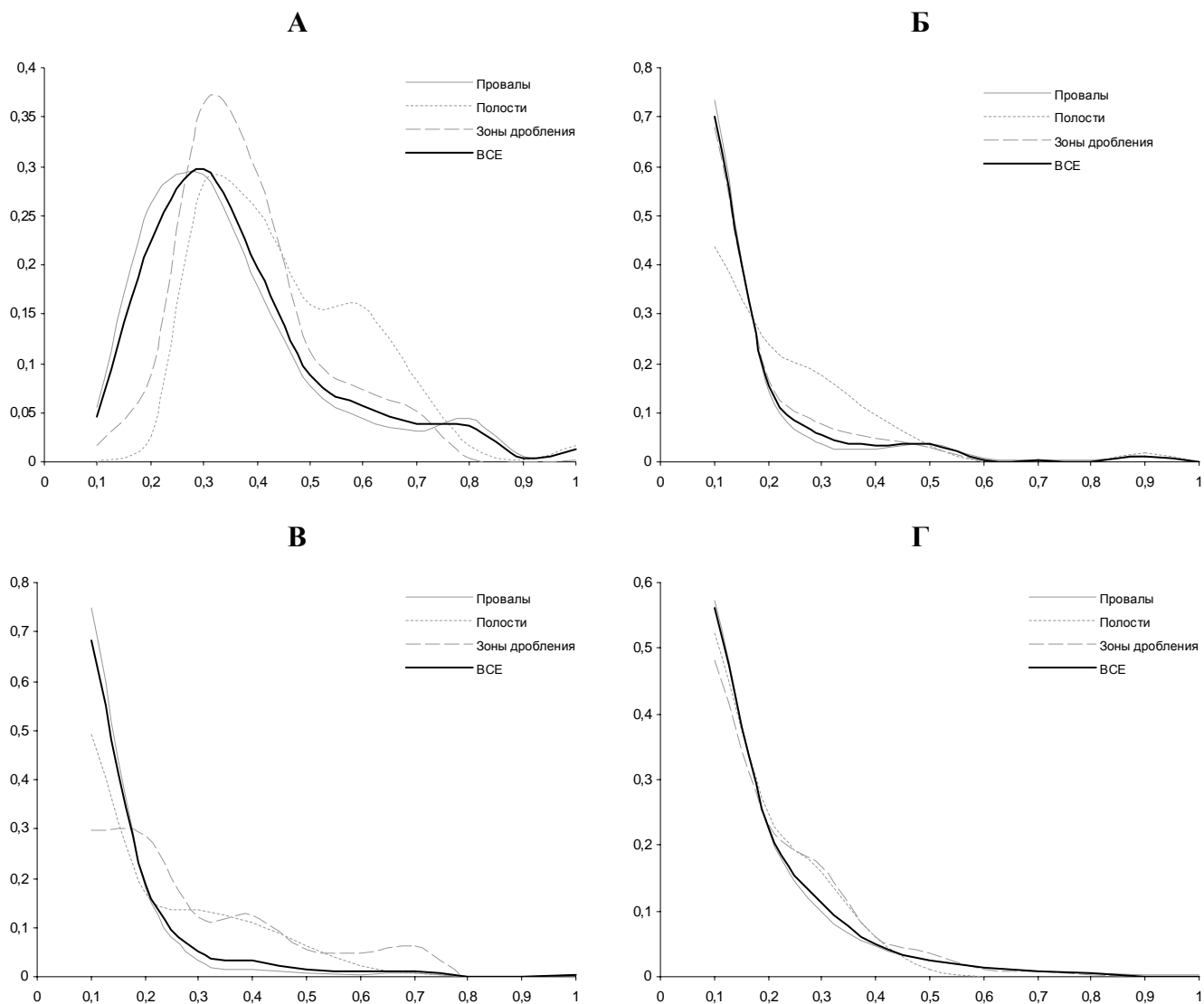


Рис. 3. Частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений  
линеamentных показателей (ось X), выраженной в индексной форме, в пределах всех  
территорий: А – линейная плотность линеamentов; Б – количество пересечений линеamentов;  
В – блочность; Г – удаленность от линеamenta

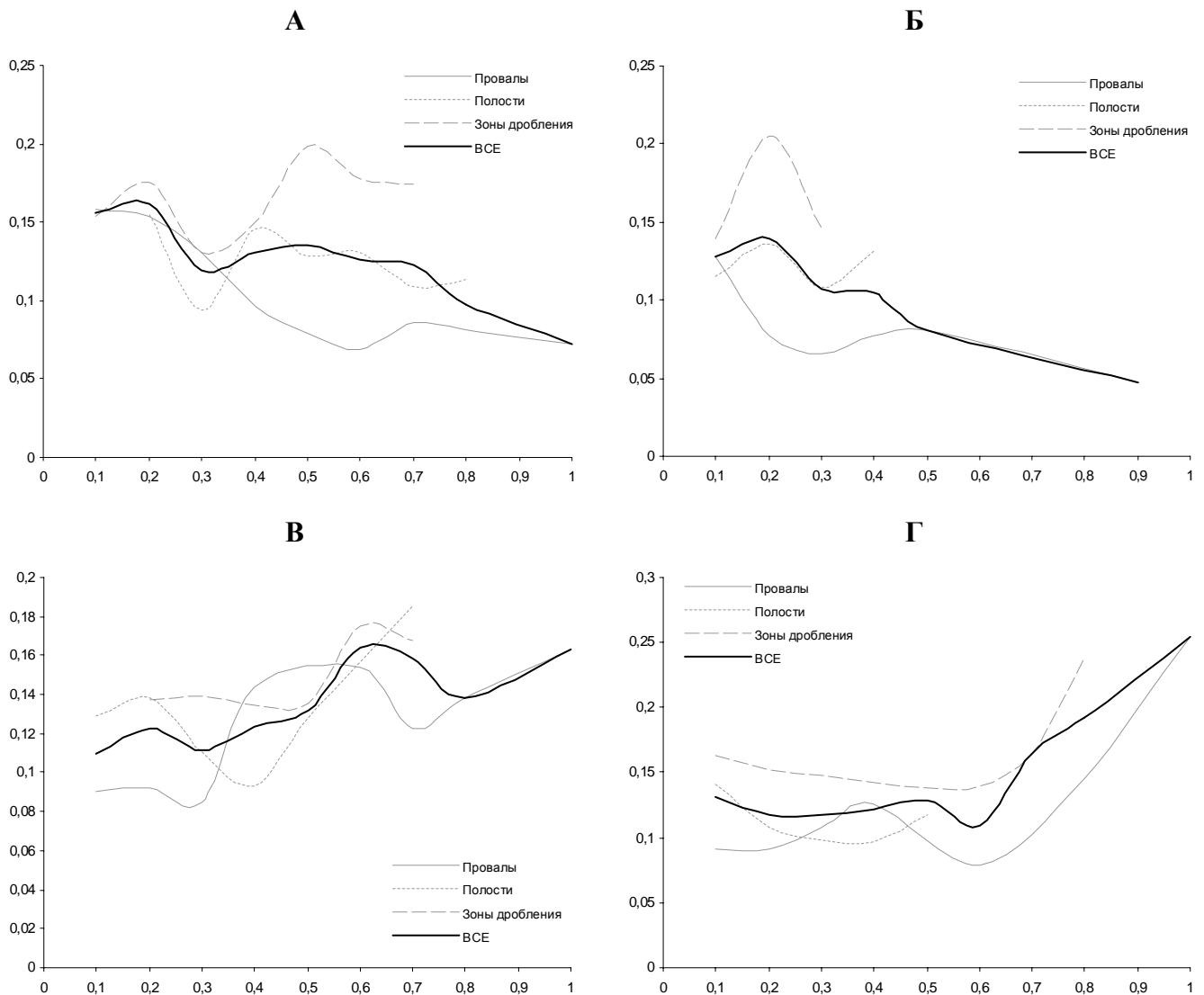


Рис. 4. Средние диаметры и высоты карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений линеаментных показателей (ось X), выраженной в индексной форме, в пределах всех территорий: А – линейная плотность; Б – количество пересечений линеаментов; В – блочность; Г – удаленность от линеамента

Полученные закономерности вполне пригодны для получения прогнозных уравнений.

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

$$I = ax + b \text{ – линейная зависимость,}$$

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

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

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

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

Таблица 4. Прогнозирование вероятности образования форм карста и их морфометрии

Показатели природного строения		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 $\sigma$		$a$	$b$	
Линейная плотность линеаментов, км/км <sup>2</sup>	$L_L$	14,7	-0,91	0,49	логнормальный	0,5092	-0,3081	экспоненциальная
Количество пересечений линеаментов, шт./км <sup>2</sup>	$K_L$	70,7	-2,23	1,26	логнормальный	0,2495	-0,6664	степенная
Блочность, км <sup>2</sup>	$B$	2,9	-2,53	1,17	логнормальный	0,0116	1,6450	экспоненциальная
Удаленность от линеаментов, м	$U_L$	665,0	-2,12	1,09	логнормальный	0,0003	0,0049	линейная

Таким образом, линеаменты являются важнейшим фактором развития карста, контролирующим не только распределения форм карста, но и предопределяющим их величину.

#### Список литературы

1. Золотарев Д. Р. Влияние линеаментов на распределение карстовых форм и их морфометрию // Мат. Всеросс. научно-практич. конф. с международным участием. «Чтения, посвященные 100-летию со дня рождения А. В. Ступишина». Казань, 2012. С. 107-111.
2. Золотарев Д. Р., Катаев В. Н. Прогностические показатели линеаментной тектоники применительно к карстовому процессу на локальном уровне. Москва. Мат. Всеросс. научно-практ. конф. ГЕОРИСК-2012. С. 155-162.
3. Золотарев Д. Р., Катаев В. Н. Роль линеаментов в развитии карстового процесса и их связь с физико-механическими свойствами грунтов на территории г. Кунгур. г. Уфа, 2012. С. 184-189.
4. Щербаков С. В., Катаев В. Н. Прогнозирование вероятных глубин карстовых провалов по значениям их средних диаметров // Пермь. 2012. С. 157-160.
5. Щербаков С. В., Катаев В. Н. Механические свойства дисперсных грунтов территории г. Кунгур и их влияние на активность карста. Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях. Материалы Всероссийской конференции с международным участием (г. Уфа, 22–23 мая 2012, С. 252-262).



**Рецензенты:**

Катаев Валерий Николаевич, доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры, проректор по научной работе и инновациям, зав. кафедрой динамической геологии и гидрогеологии, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь.

Ибрагимов Р. Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрографии, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь.