

УДК 624.131.1

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ КАРСТОВЫМИ ФОРМАМИ И ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ ТЕРРИТОРИЙ

Щербаков С. В.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: greyvr@mail.ru

Предложена методика для оценки взаимосвязей между локализацией карстовых форм в пространстве, их морфометрическими параметрами и природными условиями территорий. В ее основу положена формализация природной обстановки развития карста в виде набора отдельных показателей-факторов, с разных сторон характеризующих особенности природного строения исследуемых участков. Сопоставление показателей природного строения с картируемыми карстовыми формами осуществляется посредством картографического и графического моделирования с последующей аналитической обработкой количественных данных. Предлагаемый алгоритм ориентирован на установление распределений изучаемых карстовых форм по значениям показателей природного строения, а также на выявление направленности (тренда) зависимости морфометрических параметров карстопроявлений от изменчивости исследуемых показателей. 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, показатели природного строения, индексная оценка, распределения карстовых форм, морфометрические параметры, тренд-анализ.

TECHNIQUE OF RELATIONSHIPS ANALYSIS BETWEEN KARST FORMS AND NATURAL CONDITIONS OF TERRITORIES

Scherbakov S. V.

Perm State University National Research, Perm, Russia (614990, Perm, street Bukireva, 15), e-mail: greyvr@mail.ru

The technique for assessment of relationships between localization of karst forms, their morphometric parameters and natural conditions of territories is suggested. Natural conditions of karst development formalized as a set of separate factors characterizing features of different parts of natural structure of studied sites is put in its basis. Comparison of factors of natural structure with mapped karst forms is carry out by means of cartographical and graphic modeling with the subsequent analytical processing of quantitative data. The offered algorithm is focused on establishment of distributions of studied karst forms according to values of factors of natural structure, and also on identification of orientation (trend) of dependence of morphometric parameters of karst forms from variability of studied factors. 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 Permsky krai from means of the regional budget.

Key words: karst forms, factors of natural structure, index assessment, distribution of karst forms, morphometric parameters, trend analysis.

Современная инженерно-геологическая практика изучения природных условий территорий, в пределах которых активно развиваются карстовые процессы, требует их количественного рассмотрения в совокупности с карстовыми формами, картируемыми в пределах исследуемой области. Особенности природного строения территории обычно представляются в формализованном виде и сводятся к изучению отдельных показателей-факторов, характеризующих ту или иную их сторону. В зависимости от детальности и конечной цели исследования набор таких показателей природного строения может меняться как в качественном, так и в количественном отношении. Например, в целях оценки

карстоопасности территории, обычно исследуются показатели, характеризующие структурно-тектонические, геолого-гидрогеологические, геоморфологические и инженерно-геологические условия [1].

Оценка влияния показателей природного строения на интенсивность развития карста может быть осуществлена посредством их сопоставления с исследуемыми карстовыми формами и их морфометрическими параметрами. При инженерно-геологической оценке территории первостепенное значение имеет изучение поверхностных провальных карстовых форм (воронок), а также подземных карстовых полостей и зон дробления, фиксируемых по результатам буровых работ. Основными морфометрическими параметрами исследуемых карстовых форм являются средний диаметр d и глубина z воронок, высота h_p полостей и мощность h_z зон дробления.

Целью сопоставления карстовых форм и показателей природного строения является установление: 1) эмпирических и теоретических распределений карстовых форм по показателям природного строения; 2) характера зависимости морфометрических параметров карстовых форм от значений исследуемых показателей. Для этого используются методы картографического и графического моделирования с последующей аналитической обработкой количественных данных.

Установление взаимосвязи между значениями показателей природного строения, количественным проявлением и параметрами карстовых форм осуществляется посредством картографического моделирования, которое выполняется поэтапно. На первом этапе методами интерполяции строятся картографические модели изменчивости значений исследуемых показателей (рисунок 1, А). Далее на эти модели «накладываются» рассматриваемые карстовые формы (рисунок 1, Б), каждой из которых присваивается значение показателя в точке ее локализации (рисунок 1, В).

С целью возможности разнопланового сопоставления и сравнения результатов исследуемые показатели природного строения и морфометрические параметры карстовых форм приводятся к общему виду посредством их нормализации. Для этого значение морфометрических характеристик y каждой отдельно взятой карстовой формы и исследуемых показателей природного строения x , фиксируемых в точке ее локализации, делится на их территориальный максимум – максимальное значение в пределах всей исследуемой территории. Таким образом, получают *индексные оценки* I исследуемых величин [5]:

$$Ix_i = \frac{x_i}{\max x}, \quad Iy_i = \frac{y_i}{\max y},$$

где I_{x_i} – индексная оценка i -го значения показателя природного строения x , д.е.; I_{y_i} – индексная оценка i -го значения морфометрического параметра y , д.е.

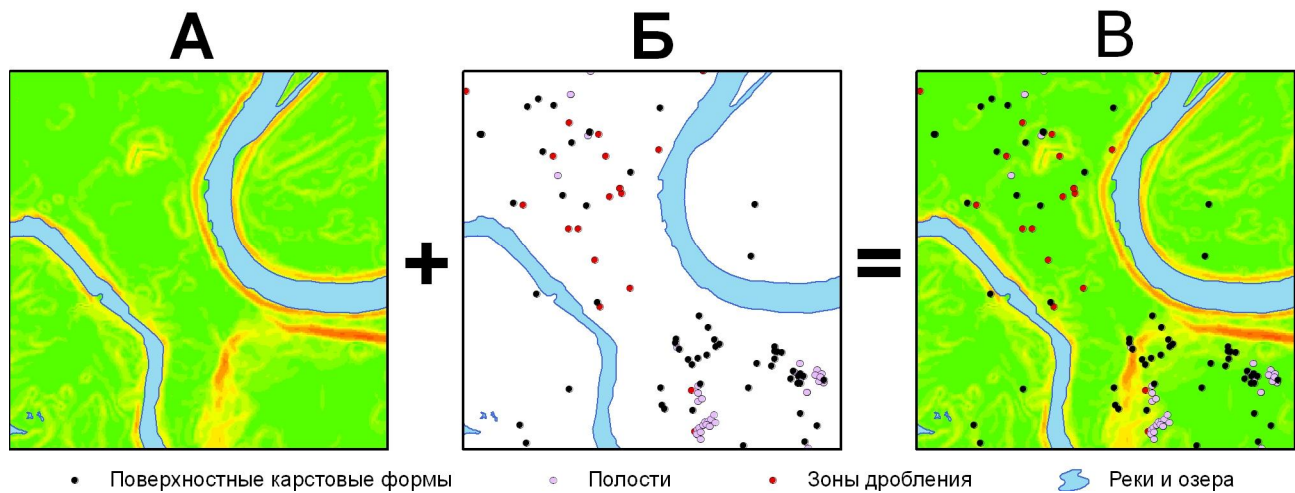


Рисунок 1. Пример картографического сопоставление показателей природного строения и карстовых форм

Преимущество использования индексных оценок заключается не только в возможности сравнивать разноразмерные величины друг с другом, но и в том, что в результате такой операции новые значения показателей природного строения и морфометрических параметров карстовых форм изменяются в одинаковых пределах – от 0 до 1. При этом, чтобы получить истинные их значения, достаточно выполнить обратную операцию – умножить индексное значение на территориальный максимум.

Количественное распределение карстовых форм по показателям природного строения выражается в графической форме в виде гистограмм или кривых плотности распределения (рисунок 2). По оси абсцисс откладываются значения показателей природных условий, а по оси ординат – частота встречаемости карстовых форм в равных интервалах значений исследуемых показателей.

После выявления частных распределений рассматриваемых разновидностей карстовых форм по отдельности устанавливается общее распределение всех рассматриваемых в анализе форм карста путем совместного осреднения их частот (рисунок 2, утолщенная черная кривая). Таким образом, общее распределение в интегральной форме суммирует вклад всех отдельных карстовых форм.

По формам эмпирических кривых общих распределений подбирается наиболее подходящее теоретическое распределение. В анализе рассматриваются два основных теоретических закона распределения – нормальный и логарифмически нормальный. Эти распределения присущи практически всем природным элементам, что неоднократно подчеркивалось исследованиями многих авторов, а их использование оправдано простотой и

удобством получения конечного результата. Наконец, точность прогнозирования с применением семейства нормального закона распределения является достаточно высокой, о чем свидетельствуют результаты ранее выполненных исследований [4, 6].

Установление параметров теоретического закона распределения (среднее значение и среднеквадратическое отклонение значений анализируемых показателей природного строения) осуществляется с применением стандартных формул математической статистики. Наиболее подходящее теоретическое распределение, в большей степени соответствующее эмпирическому общему распределению всех карстовых форм по исследуемому показателю строения, устанавливается исходя из физического смысла анализируемого показателя, а также по наилучшей сходимости эмпирической (рисунок 2, утолщенная черная кривая) и теоретической (рисунок 2, утолщенная красная штрихпунктирная кривая) кривых плотности распределения.

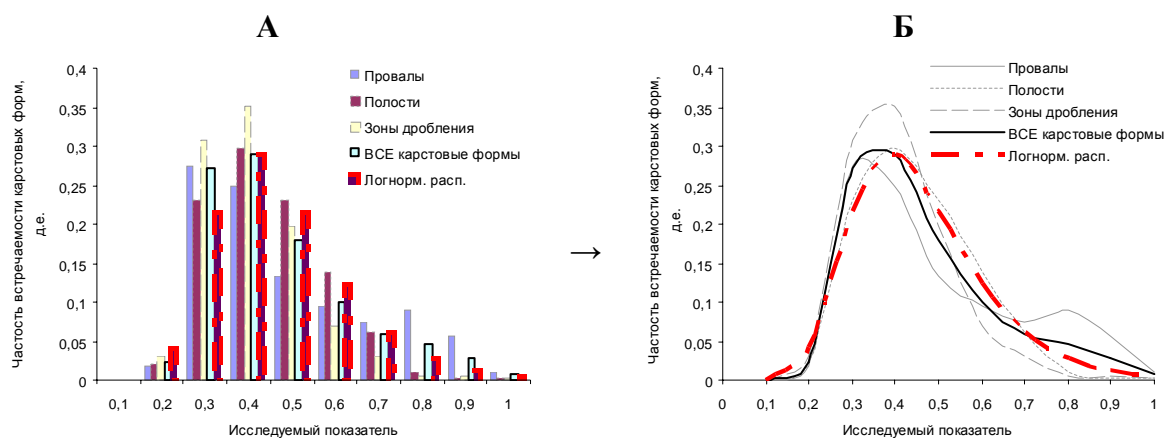


Рисунок 2. Пример осуществления графического анализа распределений карстовых форм по показателям природного строения, выраженным в индексной форме и представленного в виде: А – гистограмм; Б – кривых плотности распределения

Знание характера эмпирического распределения карстовых форм по значениям исследуемого показателя природного строения и параметров теоретического закона позволяет устанавливать характер опасности проявления карста в границах изучаемого участка или в отдельной конкретной точке пространства.

О возможности выявления характера взаимосвязей между отдельными факторами природных условий и диаметрами карстовых воронок с использованием методов математической статистики отмечалось в ряде крупных отечественных работ, посвященных карстологической тематике [2, 3]. Согласно В. В. Толмачеву и др., достоверное установление таких связей возможно при достаточном количестве исходных данных и при условии, что оцениваемые показатели природных условий носят содержательный характер, т.е. напрямую характеризуют активность протекания карстового процесса. Один из подготовительных

этапов для осуществления такого анализа заключается в разбиении значений оцениваемых показателей природных условий на ряд отдельных интервалов или признаков (классов).

Оценка взаимосвязи между морфометрическими параметрами карстовых форм и показателями природного строения заключается в противопоставлении исследуемой морфометрической характеристики каждой отдельно взятой карстовой формы значению исследуемого показателя в точке локализации этой формы. В результате дифференцировано по каждому из типов карстовых форм строятся двухмерные облака точек, характеризующие зависимость морфометрических параметров от значений исследуемых показателей (рисунок 3, А). 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 (рисунок 3, Б).

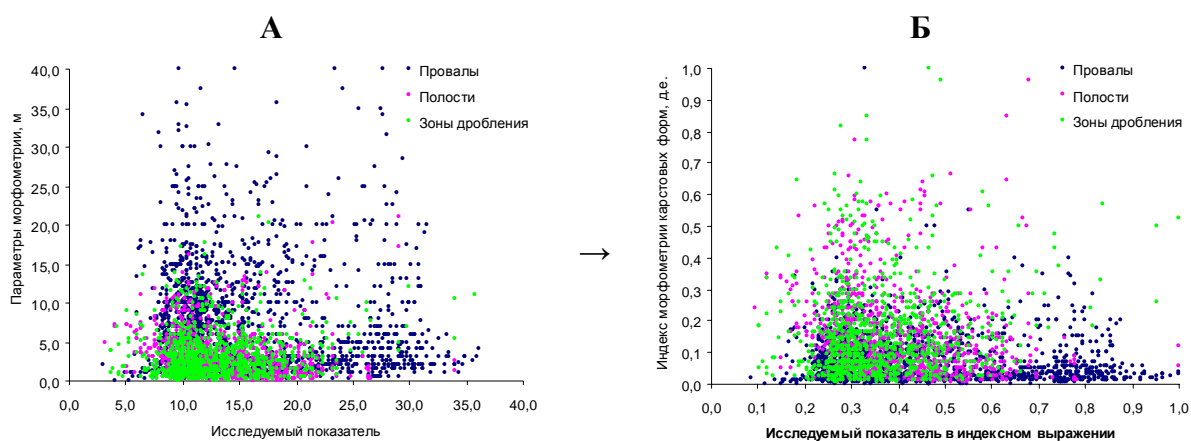


Рисунок 3. Точечный график зависимости морфометрических параметров карстовых форм от значений исследуемого показателя: А – значения выражены в истинной форме; Б – значения характеристик выражены в индексной форме

Однако диаграммы, приведенные на рисунке 3, не являются информативными, т.к. в большинстве случаев по ним невозможно установить даже приблизительный характер связи. Извлечь информацию об имеющемся тренде позволяет операция осреднения значений морфометрических параметров карстовых форм в равных интервалах значений исследуемых показателей (рисунок 4, А). Данная процедура позволяет оценить направленность наблюдаемой зависимости, а в некоторых случаях и установить ее характер (линейная, экспоненциальная, логнормальная и др.).

В преобладающем ряде случаев на фоне тренда наблюдаются отклонения средних значений морфометрических параметров от общей направленности (см. рисунок 4, Б, класс 0,6-0,7 по зонам дробления). Иногда такие отклонения выражены в форме резких скачкообразных перегибов кривой тренда. Как правило, отклонения от общей направленности носят случайный характер и представлены главным образом в тех интервалах значений исследуемых показателей, в пределы которых попадает относительно

небольшое количество карстовых форм. При обработке тренда аномальные отклонения, несвойственные общей зависимости, исключаются из анализа. Если зафиксированное отклонение от тренда приурочено к классу, в пределах которого встречается менее 5 % карстовых форм от их общего количества, то данное отклонение считается аномальным, и класс исключается из анализа.

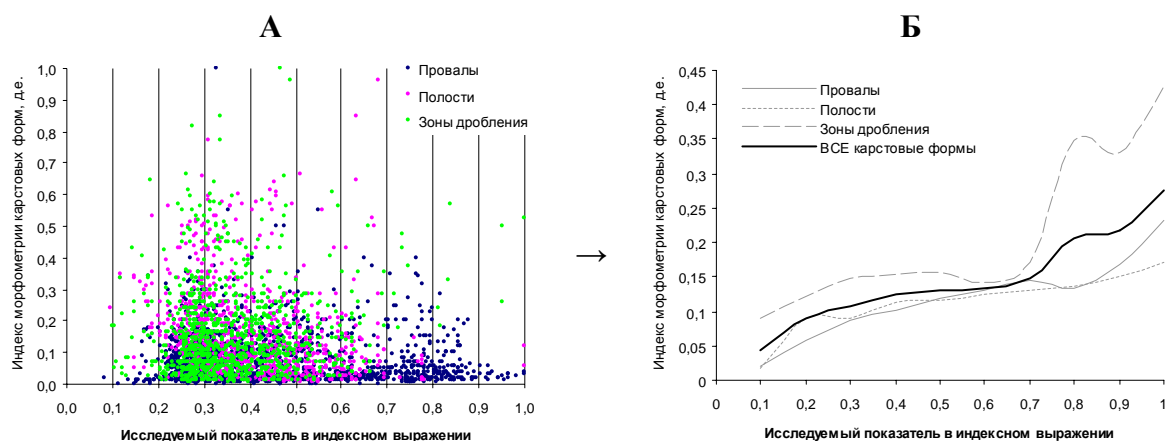


Рисунок 4. Определение тренда зависимости морфометрических параметров карстовых форм от значений исследуемого показателя (пояснение см. в тексте)

В редких случаях аномальные отклонения от тренда приурочены к классу-интервалу, представленному достаточно большим количеством карстовых форм. Такая ситуация, когда среднее значение морфометрических параметров карстовых форм определено по достаточно большой выборке и выбивается из наблюдаемого общего тренда, может быть объяснена рядом причин. Иногда она вызвана наличием ошибок, допущенных на ранних стадиях анализа, слабой степенью влияния анализируемого показателя на карстовый процесс. Однако наиболее часто такие отклонения связаны с неоднозначностью трактовки самих морфометрических характеристик. В большинстве случаев при изучении карстовых форм оценка их морфометрических характеристик осуществляется на настоящий момент времени, вследствие чего в общей статистической обработке могут участвовать как молодые, так и древние провальные воронки. В случае последних установить их первоначальные морфометрические характеристики не представляется возможным. Немаловажным фактором является отсутствие данных и невозможность достоверного установления природы и механизма образования порядка 70 % исследуемых воронок, в результате чего разделение их по генетическому принципу не представляется возможным. Еще большей неоднозначностью характеризуются подземные карстопроявления, в правильности выделения которых в разрезе буровой скважины большую роль играет субъективное мнение геолога, контролирующего процесс бурения и производящего описание буровой колонки. Однако, несмотря на отмеченные недостатки, рассматриваемый подход практически всегда позволяет получить

однозначное решение задачи по выявлению связи между морфометрией карстовых форм и исследуемыми показателями природного строения. При этом решение будет тем объективнее, чем больше размер исследуемой выборки или чем большее количество данных подвергается статистической обработке.

Таким образом, предложенный подход позволяет достаточно объективно и однозначно устанавливать взаимосвязи между локализацией карстовых форм в пространстве, их морфометрическими параметрами и природными условиями территорий, представленными в виде набора конкретных исследуемых показателей природного строения. На основе такого анализа открывается возможность для построения расчетных математических моделей, позволяющих осуществлять прогноз развития карстовых форм и карстоопасности территорий исходя из природной обстановки развития карстового процесса.

Список литературы

1. Катаев В. Н., Щербаков С. В., Золотарев Д. Р., Ковалева Т. Г. Проблема освоения закарстованных территорий // Геология крупных городов: матер. межд. конф., Санкт-Петербург, 25–25 ноября, 2009. С. 53-54.
2. Толмачев В. В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. М.: Недра, 1990. 151 с.
3. Толмачев В. В., Троицкий Г. М., Хоменко В. П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
4. Щербаков С. В., Катаев В. Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 1. С. 203-224.
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 Российской конференции с международным участием (22–23 мая 2012 г., г. Уфа). Уфа: БашНИИстрой, 2012. С. 252-262.
6. Shcherbakov S. V. Integral estimation of karst hazard // Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety. International Conference, Moscow, Russia, September 6–8, 2011b. Delegate Papers. Moscow, 2011. P. 236-240.

Рецензенты:

Катаев Валерий Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Ибламинов Рустем Гильбрахманович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрографии геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.