

УДК 551.435.8; 624.131.1

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КАРСТОВЫХ МАССИВОВ

Щербаков С.В., Катаев В.Н.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
Пермь, e-mail: greyvr@mail.ru, kataev@psu.ru

Оценка карстоопасности в современных реалиях уже не может обойтись без количественного учета основных условий и факторов развития карстового процесса. Одной из сторон такой оценки является анализ геоморфологических условий. Понимание особенностей формирования рельефа карстовых массивов, его вертикальной и горизонтальной зональности, стадийности развития, действующих неотектонических условий и геологического строения позволяет объективно подходить к выявлению наиболее значимых геоморфологических показателей, влияющих на активность карста. Рассмотрены теоретические аспекты формирования диссонантного и консонантного рельефа, стадийность их развития и особенности распределения закарстованности в разные временные периоды рельефообразования карстовых массивов. Проанализированы элементы подземного рельефа карстующихся массивов, отмечена приуроченность карстопоявлений на поверхности земли и в толще пород к различным формам подземного рельефа кровли карстующейся толщи. Выявленные закономерности рассмотрены на конкретных примерах Пермского Предуралья.

**Ключевые слова:** карст, рельеф, карстовый массив, диссонантный, консонантный, карстоопасность, показатели геоморфологического строения, карстовые формы

## FEATURES OF GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF KARST MASSIFS

Scherbakov S.V., Kataev V.N.

Perm State University National Research, Perm, e-mail: greyvr@mail.ru, kataev@psu.ru

The karst hazard assessment in modern reality can no longer do without a quantitative accounting of the basic conditions and factors of evolution of karst process. One of the parties of such assessment is to analyze the geomorphologic conditions. Understanding the formation features of the relief of karst massifs, its vertical and horizontal zoning, stages of development, neotectonic conditions and geological structure allows an objectively look on identifying the most significant geomorphologic factors that affect the activity of the karst. Analyzed theoretical aspects of formation of dissonant and consonant relief, stages of its development and features of distributions of karstification in different time periods of relief formation of karst massifs. Elements of underground relief of karst massifs are considered. Appurtenance of karst forms on the earth surface and within the body of karst massif to different elements of underground karst relief of top of the karst rocks was noted. Identified relationships were considered on the concrete example from Perm Pre-Urals.

**Keywords:** karst, relief, karst massif, dissonant, consonant, karst hazard, indicators of geomorphologic conditions, karst forms

Развитие методических подходов к оценке карстоопасности, по нашему мнению, должно выполняться в ключе комплексного исследования особенностей природного строения территорий в сопоставлении с проявлением карстового процесса и его активностью. Основная задача таких исследований заключается в установлении фундаментальных количественных взаимосвязей между природными условиями и характером развития карста.

Среди всего многообразия природных факторов, влияющих на активность, а вместе с тем и опасность протекания карстового процесса, немаловажная роль принадлежит геоморфологическим особенностям строения карстового массива. Рельеф земной поверхности в закарстованных районах характеризуется значительной вариативностью (воронки, поноры, лога, депрессии, рытвины, оседания и пр.) и сложностью формирования. С проблемой его формализации и описания сквозь призму отдельных

факторов, наиболее применимых для целей решения задач, связанных с оценкой карстоопасности территорий, неоднократно сталкивались многие исследователи [3, 10, 11].

Очевидно, что геоморфологический облик карстовых массивов во многом зависит от неотектонической обстановки их развития, а также геологического строения их приповерхностной части. В настоящей работе приводится попытка систематизировать теоретический опыт, накопленный в области исследования формирования рельефа карстовых массивов. Понимание глобальных механизмов развития карстового рельефа позволит более целостно подходить к выделению геоморфологических факторов карстоопасности при решении частных инженерно-геологических задач.

### Результаты анализа

А.И. Печеркин и Г.Б. Болотов [7] при анализе формирования рельефа карстовых массивов выделяют две его принципиаль-

ные разновидности: *консонантный* и *диссонантный*. Впервые данные термины в отношении рельефа карстовых массивов употребил Г.А. Максимович [6]. Под консонантным он понимал карстовый рельеф, характерный в наше время в данных климатических условиях, под диссонантным – рельеф, образованный в прошлые эпохи и сохранившийся до наших дней в современных климатических условиях. А.И. Печеркин и Г.Б. Болотов [7] расширили эти два понятия, вложив в них несколько иной смысл. Так, под консонантным рельефом они понимают рельеф обнаженного или перекрытого маломощным почвенно-растительным слоем карстового массива, а под диссонантным – рельеф карстового массива, перекрытого мощной толщей покровных рыхлых отложений.

С нашей точки зрения эти понятия целесообразно трактовать как по отношению к рельефу, так и при характеристике собственно карстовых массивов. Консонантный рельеф карстовых массивов характеризуется выходом на дневную поверхность карстующихся пород и прямым выражением их в рельефе местности. Диссонантный, напротив, характеризуется инверсионным сочетанием рельефа поверхности земли и поверхности карстующихся пород, залегающих на относительной глубине.

Развитие любой карстовой системы подчиняется закону ритмичности с учетом всеобщего тренда развития карстового процесса, направленного на постепенное разрушение карстующейся толщи и деградацию карстового массива. Ритмичность выражается в постепенных переходах от массива консонантного к массиву диссонантному и наоборот. Контролируется ход этого развития тектонической активностью территории, а именно интенсивностью вертикальных и субвертикальных неотектонических движений земной коры. В результате в массиве происходит перераспределение тектонических усилий, активизируются старые и закладываются все новые зоны повышенных напряжений, в пределах которых формируются дизъюнктивные нарушения различных порядков, определяющие направление процесса карстообразования и особенности рельефа поверхности земли. Тектоническое поднятие территории в самом общем случае ведет к формированию консонантного карстового массива вследствие комплексного воздействия на породы процессов денудации. Соответственно, понижение территории формирует благоприятные условия для аккумуляции и осадко-накопления и формирования на этом фоне диссонантного карстового массива.

В геоморфологическом отношении в пределах любого карстового массива выделяются три основные разновидности элементов рельефа – карстовые депрессии, или котловины, карстовые останцы и карстовые седловины. Постепенное разрушение и развитие карстующихся отложений поверхностными и подземными водами, наиболее интенсивно проходящее в пределах ослабленных трещиноватых зон карстового массива на фоне протекания других экзогенных геологических процессов, таких как перенос, перераспределение вещества и его аккумуляция, приводит к формированию *карстовых депрессий*. Они характеризуются пониженным гипсометрическим положением в рельефе массива. Наиболее крепкие и целые участки коренных карстующихся пород, со слабо развитой трещиноватостью и возвышенным положением в теле карстового массива, называются *карстовыми останцами*. Наконец, промежуточные участки, приуроченные к межостанцовому пространству, относятся к *карстовым седловинам* или *межостанцовым седловинам*. Эти разновидности элементов рельефа характерны как для консонантного, так и для диссонантного типа. Более подробно роль структурно-тектонических факторов в геоморфологическом зонировании карстовых массивов представлена в работах пермских геологов-карстоведов [7, 4, 8, 9].

На фоне тектонических структур в породах карстового массива выделяются локальные осложнения, проявляющиеся в виде зон раздробленности, карстовых полостей и их систем, а на поверхности в форме карстовых долин, оврагов, провалов, воронок и т.д. Схематическое изображение идеализированного консонантного рельефа карстового массива приводят А.И. Печеркин и Г.Б. Болотов [7]. Они же имплицитно отмечают, что подобная картина характерна для диссонантного типа рельефа карстового массива, где помимо всего прочего при образовании локальных провальных карстовых форм будут преобладать процессы суффозии, проседания, обрушения и оползания покровных отложений (рис. 1).

Примером формирования диссонантного типа рельефа из консонантного может служить долина р. Иргины в Предуралье (Пермский край). Ее формирование наряду с тектоническим оседанием территории во многом обусловлено литологической неоднородностью пород. В результате первичная карстово-эрозионная равнина (стадия I) пройдя последовательное развитие (стадии II–III), сопровождающееся образованием карстовой депрессии на месте трещиноватых легкорастворимых кунгурских

гипсов и останцов, сложенных крепкими, практически непроницаемыми артинскими известняками приобрела современный вид

(стадия IV), когда интенсивно карстующиеся гипсы перекрыты дисперсными отложениями-наносами р. Иргины (рис. 2).

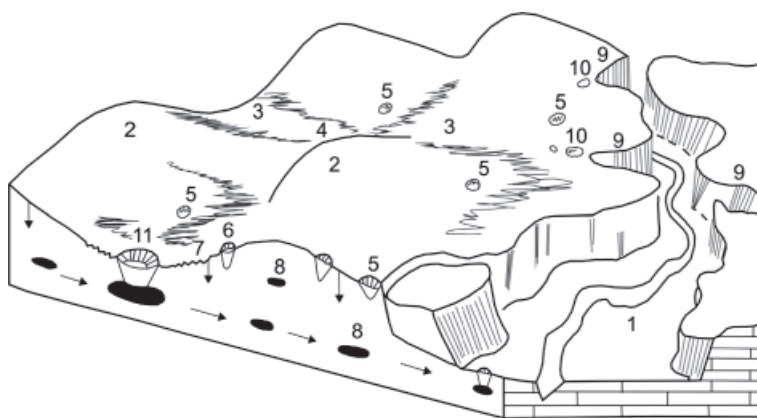


Рис. 1. Блок-диаграмма идеализированного карстового массива [7]:  
1 – коррозивно-эрозионная долина реки; коррозийные; 2 – останцы; 3 – межостанцовые седловины; 4 – депрессии; 5 – воронки; 6 – поноры; 7 – карры; 8 – подземные полости; коррозивно-эрозионные: 9 – овраги; 10 – воронки; 11 – коррозивно-обвальные воронки.  
Стрелками показано направление движения подземных вод

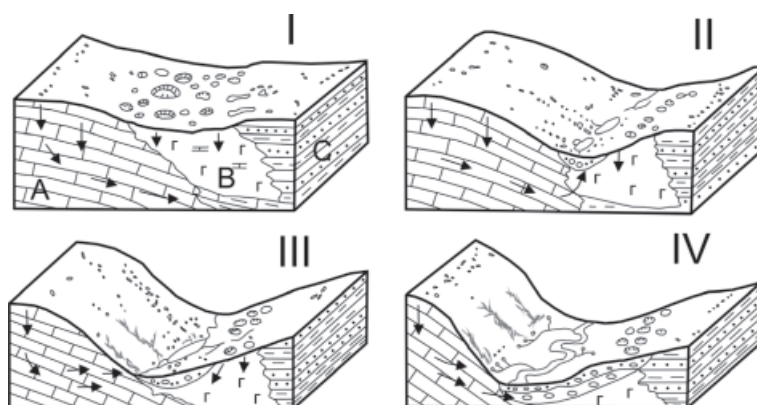


Рис. 2. Формирование долины р. Иргины в Предуралье [2]. Породы:  
А – карбонатные ( $P_1a$ ); Б – сульфатные ( $P_1kg$ ), В – песчано-глинистые ( $P_1kg$ ). Стадии развития карстового рельефа: I – приподнятая закарстованная равнина; II – озерная депрессия с сульфатными источниками; III – вскрытая депрессия с пресным вклюдом; IV – речная долина с вклюдом. Стрелками показано направление движения подземных вод

Стадийность развития диссонантного рельефа карстового массива, перекрытого скальными и полускальными отложениями, на фоне стабильной тектонической обстановки детально рассмотрена в работе А.И. Печеркина и Г.Б. Болотова [7]. Ими выделено 5 стадий формирования диссонантного карстового массива (рис. 3).

На первых стадиях (В, С) растворение пород идет в пределах интенсивно раздробленных тектоническими трещинами участков массива. Оно сопровождается формированием карстовых депрессий, выраженных пологими понижениями рельефа с возможным образованием озер на поверхности земли, а

в ходе дальнейшего растворения карстующихся пород и раскрытия трещин приводит к ослаблению покровной толщи и ее обрушению, вследствие чего формируются обвальнo-карстовые отложения. Наибольшая закарстованность на этих стадиях наблюдается в пределах карстовых депрессий.

На последующих стадиях (D, E) происходит расширение и углубление карстовых депрессий, интенсивное карстообразование наблюдается в седловинах. Формируются новые полости, а вследствие обрушения их кровли увеличивается мощность обвальнo-карстовых отложений. Продолжают разуплотняться и разрушаться покровные отложения.

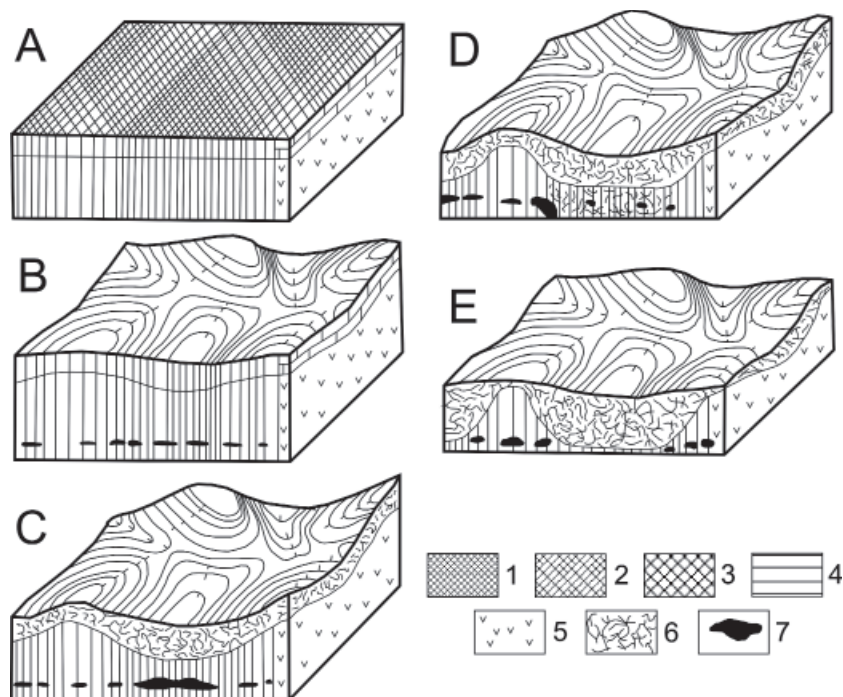


Рис. 3. Формирование диссонантного рельефа кровли закарстованного массива, перекрытого нерастворимыми скальными породами [7]:

*A – первоначальное положение массива и характер его трещиноватости; B – стадия первичного расчленения рельефа; C – стадия формирования верхнего яруса гравитационно-карстовых образований; D – стадия формирования нижнего яруса обвальнo-карстовых образований; E – стадия завершения формирования карстового рельефа. Условные обозначения: 1 – сильнораздробленные; 2 – среднераздробленные; 3 – слабораздробленные тектоническими трещинами участки; 4 – перекрывающие массив породы; 5 – растворимые породы; 6 – обвальнo-карстовые отложения; 7 – карстовые полости*

Завершается процесс формирования диссонантного рельефа (стадия E) полным обрушением всех полостей и разрушением карстующихся пород до уровня базиса эрозии в пределах депрессий и седловин. Разрушению начинают подвергаться и останцы. Рельеф земной поверхности характеризуется крупными карстовыми котловинами, постепенно заполняющимися делювиальными и аллювиальными осадками. На местах депрессий в рельефе поверхности формируются крупные карстовые лога и озера, а нередко и карстовые реки, с сильно изменяющимся водным режимом.

Схема формирования диссонантного рельефа, перекрытого рыхлыми четвертичными отложениями, в целом мало отличается от таковой, рассмотренной для случая полускальных перекрывающих пород. По мнению А.И. Печеркина и Г.Б. Болотова [7], карстовые депрессии также закладываются в пределах интенсивно трещиноватых зон массива. Отличительной особенностью является способность рыхлых покровных четвертичных песков, а также водонасы-

щенных супесей и суглинков заполнять (кольматировать) трещины, препятствуя тем самым ходу процесса карстообразования. Вследствие этого подземный рельеф карстующейся толщи характеризуется относительной выположенностью. Подземные полости образуются главным образом в результате карстово-суффозионных процессов, протекающих на границе перекрывающих и карстующихся отложений и куда реже в толще карстующихся пород.

Примерами вышеописанной стадийности развития рельефа карстовых массивов могут служить закарстованные территории Пермского Предуралья. Так, на предпоследней стадии (D) развития находится диссонантный рельеф карстового массива Полазненского п-ова, возраст которого оценивается приблизительно в 250 тыс. лет [7]. Согласно исследованиям последних лет к данной стадии развития также можно отнести консонантный и диссонантный рельеф карстовых массивов на территории г. Кунгура, пос. Усть-Кишерть, пгт Суксун, пос. Октябрьский и ряда других населенных пунктов.

### Заключение

Геоморфологическое строение оказывает существенное влияние на развитие и распределение карста. Согласно В.С. Лукину [5] тесная связь между подземными формами карста и карстовым рельефом позволяет с успехом применять геоморфологические методы для оконтуривания закарстованных зон. При рассмотрении геоморфологического строения закарстованных территорий необходимо оперировать показателями, в наибольшей степени отвечающими условиям и стадийности формирования карстового рельефа.

В самом же общем случае наиболее безопасные участки на поверхности земли в отношении карстообразования и протекания карстово-суффозионных процессов в строении подземного карстового рельефа представлены останцами коренных карстующихся пород. Межостанцовые депрессии характеризуются повышенной трещиноватой расчлененностью и широким развитием суффозионных процессов в карстово-обвальной толще. Они же являются наиболее опасными участками [1].

### Список литературы

1. Болотов Г.Б., Гайнанов Ш.Х. Влияние карстово-суффозионных процессов на инженерно-геологические условия п. Полазна // Моделирование формирования суффозионных и карстовых полостей: тезисы докл. семинара (29-30 ноября 1979 г.). – Пермь, 1979. – С. 76–77.
2. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста. – Пермь, 1979.
3. Иванов Б.Н. Типовые связи поверхностных и глубинных карстопоявлений в горном Крыму // Труды комплексной карстовой экспедиции Академии наук УССР. Изд-во Академии наук Украинской ССР. – Киев, 1963. – С. 17–26.
4. Катаев В.Н. Основы структурного карстования: учеб. пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. – Пермь, 2004. – 143 с.
5. Лукин В.С. Инженерно-геологические условия в областях сульфатного карста Предуралья // Вопросы инженерного карстования: тезисы докл. к инженерно-геологическому совещанию в г. Кунгуре (14–15 июня 1972 г.). – Кунгур, 1972. – С. 20–23.
6. Максимович Г.А. Основы карстования. – Пермь, 1963. – Т. 1. – 444 с.
7. Печеркин А.И., Болотов Г.Б. Геодинамика рельефа карстующихся массивов. Учебное пособие по спецкурсу. – Пермь: Пермский университет, 1983. – 84 с.
8. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. – 172 с.
9. Kataev V.N. The methodological aspects of karst massif investigation // Engineering geology of karst: proceedings of International symposium in Perm, Russia (July, 6–8, 1992). – Perm, Perm State University, 1993. – Vol. 1. – P. 108–114.

10. Gutierrez F. Guerrero J., Lucha P. Quantitive sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporate alluvial karst (NE Spain) // Natural Hazards. – 2008. – № 45. – P. 211–233.

11. Shcherbakov S. Parametric ratio of relief elements and karst forms // 14th GeoConference on Science and Technologies in geology, exploration and mining (17–26 June, 2014, Albena, Bulgaria). Conference Proceedings, Vol. II. Hydrogeology, Engineering geology and Geotechnics. SGEM-2014. – P. 699–706.

### References

1. Bolotov G.B., Gainanov S.H. Influence of karst-suffosion processes on engineering geological conditions in Polazna village // Modeling of formation of suffusion and karst cavities: theses of seminar in Perm (November, 29-30, 1979). Perm, 1979. pp. 76–77.
2. Gorbunova K.A. Morphology and hydrogeology of gypsum karst. Perm, 1979.
3. Ivanov B.N. Typical relations of surface and deep karst forms in the Mountain Crimea / Proceedings of complex karst expedition of USSR AS. USSR AS, Kiev, 1963. pp. 17–26.
4. Kataev V.N. Basics of structural karstology: tutorial on a special course / Perm State University, Perm, 2004. 143 p.
5. Lukin V.S. Engineering geological conditions in areas of sulphate karst of Pre-Ural / Questions of engineering karst: theses of engineering-geological conference in Kungur (June, 14–15, 1972). Kungur, 1972. pp. 20–23.
6. Maximovich G.A. Principles of Karst Science. Perm, 1963. Vol 1. 444 p.
7. Pecherkin A.I., Bolotov G.B. Geodynamics of relief of karst massifs. Tutorial on a special course / Perm State University, Perm, 1983. 84 p.
8. Pecherkin A.I. Geodynamics of sulphate karst. Irkutsk, 1986. 172 p.
9. Kataev V.N. The methodological aspects of karst massif investigation / Engineering geology of karst: proceedings of International symposium in Perm, Russia (July, 6–8, 1992). Perm, Perm State University, 1993. Vol. 1. pp. 108–114.
10. Gutierrez F. Guerrero J., Lucha P. Quantitive sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporate alluvial karst (NE Spain) / Natural Hazards, 2008. 45. pp. 211–233.
11. Shcherbakov S. Parametric ratio of relief elements and karst forms / 14th GeoConference on Science and Technologies in geology, exploration and mining (17–26 June, 2014, Albena, Bulgaria). Conference Proceedings, Vol. II. Hydrogeology, Engineering geology and Geotechnics. SGEM-2014. pp. 699–706.

### Рецензенты:

Наумов В.А., д.г.-м.н., профессор, директор естественнонаучного института, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь;

Наумова О.Б., д.г.-м.н., профессор, заведующая кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых геологического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 16.12.2014.