

**Б.А.Вахрушев****О генетическом содержании карстового рельефообразующего процесса**

Вахрушев Б.А. О генетическом содержании карстового рельефообразующего процесса // Спелеология и карстология, - № 2. – Симферополь. – 2009. – С. 30-34.

Резюме: Основным содержанием карстового рельефообразующего процесса является карстовая коррозия и хемогенная аккумуляция. Все остальные явления и процессы, протекающие в карстовых геоморфосистемах, находятся в парагенетических отношениях с последними. Карстовый процесс моногенетичен, а карстовые формы могут быть комплексными (полигенетическими) явлениями.

Вахрушев Б.О. Про генетичний зміст карстового рельефоутворюючого процесу. // Спелеологія і карстологія, - № 2. – Сімферополь. – 2009. – С. 30-34.

Резюме: Основним змістом карстового рельефоутворюючого процесу є карстова корозія і хемогенна акумуляція. Усі інші явища і процеси, що протікають у карстових геоморфосистемах, знаходяться у парагенетичних відношеннях до останніх. Карстовий процес є моногенетичним, а карстові форми можуть бути комплексними (полігенетичними) явищами.

Vakhrushev B.A. About genetic essence of the karst relief-forming process // Speleology and Karstology. – N 2. – Simferopol. – 2009. – P. 30-34.

Abstract: Principal essence of the karst relief-forming process is karst corrosion and chemical accumulation. All other phenomena and processes that develop in karst geomorphosystems are in paragenetic relations with the latter. Karst process is monogenetic while karst features can be complex (polygenetic) phenomena.

В последние десятилетия сформировались представления о карсте как о комплексном явлении. Появились такие понятия, как карстовая эрозия, карстовая гравитация и др. Крайней точкой в этих взглядах является то, что любое явление (или процесс), которые происходят в карстовых полостях или на поверхности карстовых массивов, стали считать карстовым.

По нашему мнению, которое мы попытаемся аргументировать в этой статье, решение проблемы карстового геоморфогенеза возможно с позиции классической геоморфологии, где карст стоит в ряду других рельефообразующих процессов и явлений, каждому из которых присущ особый вид деструкции и аккумуляции вещества, характер массо- и энергопереноса, определяющие генетический тип рельефа.

Свою доказательную базу мы будем строить на анализе явлений и процессов, происходящих в условиях классического карбонатного карста: чистые

массивные, толсто- или среднеслоистые известняки без прослоев некарстующихся пород, слагающие орографически выраженные карстовые массивы, подвергающиеся воздействию достаточного количества агрессивных природных вод.

В литературе встречается более 30 определений карста и карстового процесса (Якуч, 1979, с. 352). Большинство ученых (54%) признает комплексный характер карстового процесса и только 19% (в том числе и автор) считают главным фактором карстогенеза коррозию и хемогенную аккумуляцию. В одной из наиболее известных классификаций карстовых полостей, принадлежащих В.Н. Дублянскому, к основным факторам спелеогенеза отнесены гравитация, эрозия и коррозия. Однако в своей, ставшей уже классической, работе по карстовой геоморфологии, Л. Якуч пишет: «Эрозия в карсте... по существу представляет собой специфическое проявление некарстового процесса, то есть является обычной линейной эрозией, происходящей в глубине карстового массива» (Якуч, 1979, с. 352).

Изучение карстовых форм Крыма и Кавказа показывает, что эрозия и гравитация действительно участвуют в образовании некоторых элементов карстовых форм. Вопрос в другом: в каких соотношениях и соподчиненности находятся эрозионные, гравитационные и коррозионные процессы, действующие в карстовых геоморфосистемах.

© Б.А.Вахрушев *
Таврический национальный университет им.
В.И.Вернадского, Симферополь
Украинский Институт спелеологии и карстологии МОН и НАН
Украины, Симферополь

* Кореспондующий автор. E-mail: vakhb@inbox.ru

Результаты многолетних комплексных карстологических исследований (Вахрушев, Дублянский и др., 2001; Дублянский, Вахрушев, 1981; Дублянский, Вахрушев и др., 1988; Красная пещера..., 2002), проведенных автором в горно-карстовых регионах Крыма и Кавказа, а также анализ современной литературы по гидрохимии карста (Аксем, Хильчевский, 2002; Климчук, Аксем, 1985; Dreybrodt, Gabrovšek, 2000; Ford, 1972; Klimchouk et al., 2000; Palmer, Williams, 1984; Palmer, 2000; Pulina, 1971), позволяют утверждать, что карстовый литодинамический поток, определяющий генетическую суть рассматриваемого явления, имеет четкую геохимическую природу.

Особенность карстового массо- и энергопереноса заключается в том, что эрозия и гравитация являются лишь внутренними звеньями перераспределения некоторой части вещества в пределах карстовой геоморфы. Коррозия определяет структуру, а с учетом тектоники, и плановую морфологию карстовых систем.

В своей работе (Вахрушев, 2002) мы показали, что на выходе из карстовых геосистем основная часть мобилизованного вещества выносится в растворенном состоянии и только 3-5% в виде стока механических наносов. Эта цифра соответствует среднему содержанию нерастворимого остатка в карстующихся известняках горных массивов Крыма и Кавказа (Дублянский, Полканов, 1977). Во всех наиболее употребляемых формулах расчета карстовой денудации присутствует показатель ионного стока, определяемый через расход и минерализацию вод карстовых источников, и нигде нет показателя величины механического стока.

Важной особенностью гранулометрического состава отложений подземных водотоков, является отсутствие общих закономерностей изменения крупности, окатанности и сортированности подземного аллювия от начала подземной реки до ее выхода на поверхность через карстовые источники. Изменения этих параметров локальны и зависят от морфологии пещерных ходов и гидродинамики водных потоков на тех или иных участках карстовой полости. Поток механических наносов гравийно-галечниковой размерности неоднократно прерывается морфологическими ловушками: котловинами пещерных озер, сифонами, трещинными узостями и др.

Обращает на себя внимание тот факт, что по мере уменьшения крупности обломков водно-механических отложений доля карбонатных частиц резко сокращается, и уже в смешанной песчано-глинистой фракции они редко превышают 5-10% (рис. 1). Расчеты производились по средневзвешенным фракциям 20 образцов водно-механических отложений, отобранных в русле Старой и Новой рек, в озерах привходовой части, Академического зала и у 1-го сифона Красной пещеры в Крыму (Красная пещера..., 2002).

Этим подтверждается, что карбонатные обломки, слагающие подземный аллювий, находясь под турбулентным воздействием водных потоков, испытывают интенсивное растворение, и уже в песчано-глинистой фракции доминируют некарбонатные частицы нерастворимого остатка известняков и имеющихся в них алевролитно-песчано-

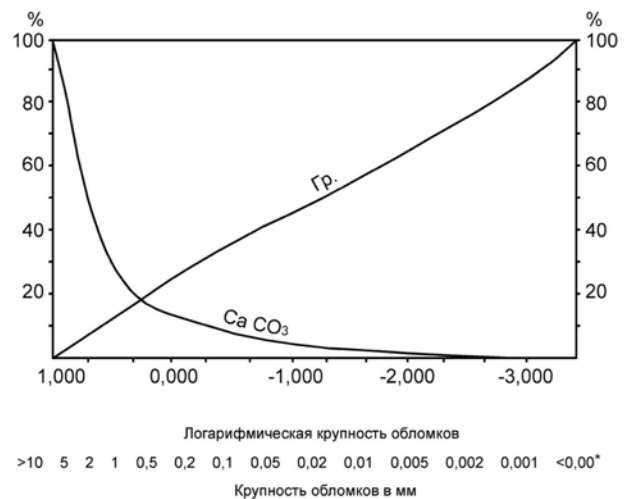


Рис. 1. Распределение карбонатных обломков (CaCO₃) в гранулометрических фракциях (Гр.), в водно-механических отложениях Красной пещеры (Крым)

гравийных прослоев некарстующихся пород. Имеются экспериментальные данные о значительно более высокой растворимости дисперсных и обломочных пород, чем консолидированных (Ярг, Вязкова, 1988). В полостях, заложенных в чистых известняках, глинистая фракция практически бескарбонатна, а ее минералогический состав полностью соответствует составу акцессорных минералов, входящих в нерастворимый остаток известняков (Дублянский, Полканов, 1977). Косвенным указанием на основную роль химической денудации в карстовом процессе является то, что среди коррелятивных отношений, развитых у выходов пещер-источников, доминируют водные хемогенные отложения карбонатных туфов. Даже у выходов крупнейших пещер-источников Репруа на Гагринском хребте (расход 2,0 м³/с), Мчишты на Бзыбском хребте (7,4 м³/с и более), Соколова на хребте Алек (1,4 м³/с), Красной (3,4 м³/с), Аянского (0,6 м³/с), Карасу-Баши (1,4 м³/с) отсутствуют коррелятивные им водно-механические отложения крупнее песчано-глинистой фракции.

Рассмотрим теперь, какова же роль эрозионных процессов (руслых вод), протекающих в карстовых геоморфосистемах. Многие ведущие карстологи отмечают важную роль механического размыва или эрозии в образовании карстовых форм, признавая при этом, что коррозия и эрозия действуют одновременно и взаимосвязано. Н.А. Гвоздецкий пишет, что «При этом (турбулентном) характере движения и при «достаточных скоростях» водных потоков в формировании оголенной поверхности из карстующихся пород и в образовании подземных форм карста одновременно участвуют растворение и размыв» (Гвоздецкий, 1972, с. 96).

В связи с этим, посмотрим, что может скрываться за словами «достаточные скорости». Под размываемостью в инженерной геологии и в учении о реках и эрозионном процессе (Апполов, 1952; Ковальчук, Каганов та ін., 2000; Макавеев, 1971; Овражная эрозия..., 1989) понимается способность водных русловых потоков отрывать и перемещать частицы обнаженных горных

пород. Размываемость определяется, с одной стороны, литологией (физико-механическими свойствами пород), а с другой - гидродинамическими свойствами водных потоков. Работа русловых вод характеризуется живой силой реки и описывается рядом расчётных формул (Ковальчук, Каганов та ін., 2000), в том числе и формулой Эри

$$W=AV^6$$

где W - вес частицы, влекомой потоком; V - придонная скорость потока, A - коэффициент пропорциональности.

Основной элемент в этих формулах - скорость потока. Для размыва горной породы необходимо, чтобы поток достиг некой критической скорости, когда гидравлическое усилие превысит силы сцепления частиц породы. В результате натуральных и экспериментальных исследований установлено, что для известняков размывающие скорости лежат в пределах 3,5 м/с (слабосвязанные, как правило, неогеновые известняки), 4-5 м/с (среднесвязанные - меловые и юрские слоистые) и даже 7-8 м/с (прочные - толстослоистые и массивные юрские и меловые известняки) (Есин, Савин и др., 1980; Сафьянов, 1965).

В табл. 1 приведены данные, полученные Г.А. Бастраковым (Бастраков, 1977) экспериментальным путем, указывающие на эрозионную прочность и размывающие (критические) скорости водных потоков. В формулу эрозионной прочности входит показатель времени воздействия потока. В случае абразии - это удар штормовой волны, в случае карста - это время мощных паводков. В связи с этим, вряд ли можно согласиться с Н.В. Есиным и др. (Есин, Савин и др., 1980), что размывающие скорости для скальных пород существенно занижены. Исходя из приведенных материалов и сравнивая их с данными прямых замеров, а это более 150 определений скорости в гидрологических створах поверхностных и подземных русловых потоков, можно утверждать, что «достаточные скорости» в карсте описываемого региона, в основном, отсутствуют. Скорости воды, измеренные в гидрологических створах подземных водотоков вертущечным методом, не превышают 3 м/с. Силы сцепления внутри чистых известняков значительно превосходят силы гидравлического воздействия при таких скоростях русловых карстовых вод. И только под высокими водопадами внутренних шахт и колодцев сила удара воды (эвразия, а не эрозия) может совершить определенную геоморфологическую работу.

Но не будем вдаваться в другую крайность - отрицать возможность протекания на некоторых участках карстовых пещер эрозии. Для скальных пород «... размываемость зависит также от их твердости,

Таблица 1

Эрозионная прочность и размывающие (критические) скорости водных потоков (Бастраков, 1977)

Отложение, горные породы	Эрозионная прочность Э	U_n м/с
Суглинок легкий с плотностью, г/см ³	<1,5	0,4-0,6
	>1,5	0,6-0,7
Суглинок легкий с плотностью, г/см ³	<1,5	0,5-0,6
	>1,5	0,7-0,8
Суглинок легкий с плотностью, г/см ³	<1,5	0,6-0,8
	>1,5	0,7-1,0
Глина средней плотности	14x10 ² -16x10 ³	0,8-1,2
	16x10 ³ -9-10 ⁴	1,2-1,5
	9x10 ⁴ -3x10 ⁵	1,5-2,0
Мергель, гипс непрочный, каменный уголь	5x10 ⁷	4
Песчаник с известняковым цементом, доломит, известняк, ангидрит, глинистый сланец	5x10 ⁷ -10 ¹⁰	4-9
Доломит и известняк крупнокристаллический, сиенит, базальтовая лава, аргиллит	5x10 ¹⁰	9-12
Гранит и гранитовые породы, диорит прочный, мрамор, песчаник с кремнистым цементом	5x10 ¹¹	12-16
Кремень, габбро высокой прочности	10 ¹²	16-19
Базальт, кварцит, диабаз и другие, весьма прочные породы	5-10 ¹²	

трещиноватости, пористости, степени выветрелости» (Овражная эрозия..., 1989, с. 31). Именно эти факторы, по данным Г.А. Сафьянова (Сафьянов, 1965) и Н.В. Есина (Есин, Савин и др., 1980), обуславливают протекание абразии берегов, сложенных скальными породами при скоростях потоков меньше критических.

В классической карстологической литературе считается, что коррозия, сочетаясь с эрозией, воздействуя «...на спайки зерен породы, освобождает зерна от сцепления и облегчает их смыв механическим действием водного потока» (Гвоздецкий, 1972, с. 142). Эту цитату Н.А. Гвоздецкого повторил в своей работе и А.Г. Чикишев (Чикишев, 1979, с. 82). Однако и здесь необходим осторожный подход.

Приведенная цитата более соответствует карстовому морфогенезу доломитов, представленных достаточно крупнокристаллическими разностями. Но к чему приводит тонкий механизм растворения? Здесь накапливается, так называемая, доломитовая мука, состоящая в основном (87-99%) из частиц доломита диаметром 0,25-0,001 мм, что в целом затрудняет дальнейшее развитие карста.

В Крымско-Кавказском горно-складчатом регионе карстующиеся известняки представлены в основном тонко, скрыто-кристаллическими и пелитоморфными разностями. Элементарные частицы таких известняков имеют размеры от 0,05 мм до 0,0005 мм (Логвиненко, 1974). Даже если гидравлические усилия превысят кристаллизационные силы сцепления породы, то время жизни такой частицы незначительно. В силу своих размеров оно очень быстро из физических взаимодействий перейдет в сферу химических превращений.

Таблица 2

Гранулометрический состав нерастворимого остатка горных пород Долгоруковского массива, %

Место взятия пробы, №	Вес пробы, кг	Выход, %	Размер фракции, мм				
			> 0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,01	< 0,01
Шахта Провал, песчаник, 1	1,9	31,6	6,9	33,6	13,6	9,0	36,9
Пещера Красная, песчаник, 89	0,5	49,3	2,5	12,5	14,4	11,0	59,6
Пещера Красная, песчаник, 89а	0,5	58,1	-	0,1	20,5	18,1	60,8
Пещера Красная, песчаник, 15	0,3	67,7	-	10,2	41,4	17,2	21,2
Пещера Красная, известняк, 91	0,5	1,8	-	0,2	0,7	5,3	93,8
Пещера Красная, известняк, 90	2,3	5,8	0,6	2,9	35,7	11,7	49,1
Пещера Красная, известняк, 96	0,8	4,7	0,1	0,5	1,0	5,0	93,4
Шахта Аверкиева, известняк, 65-79	0,6	1,1	0,1	0,1	0,9	5,0	93,9

Придавая важное значение воздействию потока механических наносов, поступающих в виде нерастворимого остатка известняков в русла подземных рек, в то же время необходимо предостеречь от излишнего абсолютизации и этого факта. Механизм истирания и удара изучены еще недостаточно. Здесь можно назвать в основном работы Г.А.Сафьянова (1965), Розе и Твенхофелла (Кинт, 1963) и Кайл (1959). По данным этих авторов, мелкие песчинки обладают несущественным истирающим воздействием. Максимальный размер частиц, не производящих эрозионного действия (при существующих в карстовых полостях гидравлических характеристиках водных потоков), равен для кварцевого песка от 0,5 до 1 мм по данным (Кайл, 1959) - от 0,3 до 1,2, по (Сафьянов, 1965) - от 0,26 до 0,56 мм.

Из табл. 2 видно, что в нерастворимом остатке известняков, в которых заложена крупнейшая в известняках пещера в Украине - Красная преобладают фракции размерами 0,1; 0,01 и <0,01 мм. То есть они находятся далеко за указанными пределами частиц, обладающих истирающими способностями. Для решения этого вопроса необходима постановка экспериментальных работ.

Таким образом, в карсте эрозионные процессы носят избирательный характер. По нашему мнению, главным фактором работы русловых вод карбонатного карста является не их размывающая способность, а транспорт вещества в растворенном и, частично, взвешенном виде. Вот эта транспортирующая способность, согласно закона Эри, действительно увеличивается в паводок на несколько порядков. Транспортирующая способность подземных потоков имеет важное значение при внутripещерном перемещении наносов, в промыве карстовых полостей, заполненных на

определенных этапах своего развития обломочными отложениями. Эрозия и транспорт механических наносов являются парагенетическим элементом доминирующего в карсте геохимического литологического потока.

Работы последних лет по натурному и математическому моделированию роста карстовых каналов, в зависимости от ряда гидрохимических и гидродинамических факторов, показали, что кинетика реакции в системе «порода - агрессивная вода» достаточна для поддержания процесса коррозии на всем пути фильтрации (Климчук, 2001, 2008; Burder, Dubertret, 1975; Palmer, Williams, 1984). Тем самым снимаются возражения об уменьшении агрессивности карстовых вод и затухании коррозии по мере удаления от поверхности вглубь карстового массива (Максимович, 1963; Максимович, 1969; Соколов, 1962; Corbel, Stchouzy, 1965).

Признавая за хемогенными процессами главную рельефообразующую роль в формировании карстовых явлений, мы четко определяем генетическую сущность карста и, следовательно, его место в парагенетических геоморфологических комплексах территорий, сложенных преимущественно растворимыми в воде породами. Естественно, в природе существует множество парагенетических взаимодействий между карстовыми процессами и сочетающимися с ними, как в пространстве, так и во времени, другими агентами геоморфогенеза. Как факторы карстогенеза эрозия, гравитация, литология, тектоника и др. должны учитываться, но вводить значение этих факторов в генетическое содержание карстового геоморфологического процесса едва ли стоит. Ведь речная эрозия не меняет своей сущности при переходе руслового потока с глинистых пород на кристаллические. Рельефообразующий процесс тот же, меняется только фактор - литология, но это, тем не менее, приводит к изменению общей морфологии речной долины. И в речных долинах имеют место оползневые, гравитационные, карстовые и др. явления, изменяющие эрозионные долины, но при этом, никто не относит оползни и обвалы, развитые здесь, к флювио-эрозионным формам и процессам. Так и нет смысла (а с методической точки зрения и вредно) говорить об эрозии и гравитации, происходящих в карстовых полостях, как о карстовых процессах, хотя их роль в преобразовании и развитии карстовых форм несомненна.

Эрозия и гравитация (обвалы сводов, обрушения межэтажных перекрытий пещер) могут рассматриваться, как элементы внутрисистемных взаимодействий единого карстового литодинамического потока, где основной формой геоморфологического

движения вещества являются природные процессы обратимых геохимических реакций – растворения (коррозия) и карстовой хемогенной седиментации, протекающей в подвижной гидродинамической среде. Рассуждая таким образом, мы можем четко отделить карстовую коррозионную и хемогенно-аккумулятивную геоморфу от геоморфы иного генезиса, определяя тем самым моно- или полигенетичность конкретной формы рельефа. Данный подход открывает возможность разработки генетической систематики карстового рельефа и позволяет разрешить кажущийся парадокс: карстовый процесс моногенетичен, а формы карстового рельефа могут быть полигенетичными образованиями. Особенности гидрохимических превращений в карстовых геоморфосистемах мы рассмотрим в отдельной статье в следующем номере настоящего журнала.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксем С.Д., Хильчевский В.К. Вплив сульфатного карсту на хімічний склад природних вод у басейні Дніпра. – Київ: Ніка-Центр, 2002. – 204 с.
- Апполов Б.А. Учение о реках. – М.: Наука, 1952. – 522 с.
- Бастраков Г.В. Эрозионная прочность горных пород // Геоморфология, 1977. – №3. – С. 52-55.
- Вахрушев Б.А. Основні проблеми карстового геоморфогенезу // Український географічний журнал. – Київ, 2002. – № 7. – С. 20-25.
- Вахрушев Б.А., Дублянський В.Н., Амеличев Г.Н. Карст Бзыбского хребта. Западный Кавказ. – М.: РУДН, 2001. – 166 с.
- Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. – М.: Мысль, 1972. – 392 с.
- Дублянський В.Н., Полканов Ю.А. Состав водных хемогенных и механических отложений карстовых полостей Горного Крыма // Пещеры. – Пермь: ПГУ, 1977. – Вып. 14-15. – С. 32-37.
- Дублянський В. Н., Вахрушев Б. А. Условия развития карста Кавминвод и его гидрогеологическое значение // Пещеры Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1981. – №9. – С. 135 – 141.
- Дублянський В.Н., Вахрушев Б.А., Лосева М.Н. Химическая денудация как мера интенсивности карстового процесса // Тр. XIX Пленума Геогр. Комиссии АН СССР «Экзогенные процессы и окружающая среда». – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1988. – С. 48-49.
- Есин Н.В., Савин М.Т., Жиляев А.П. Абразионный процесс на морском берегу. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 200 с.
- Кайл А. Индекс окатанности зерен песка и песчаника // Вопросы климата и структуры геоморфологии. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. – С.38-48.
- Кинт К.А. Пляжи и берега. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 400 с.
- Климчук А.Б. Основные особенности и проблемы гидрогеологии карста, спелеогенетический подход. // Пещеры. – Пермь: ПГУ, 2001. – С. 28-51.
- Климчук А.Б. Особенности и проблемы гидрогеологии карста: спелеогенетический подход // Спелеология и карстология. – Симферополь, 2008. – №1. – С. 23-46.
- Климчук А.Б., Аксем С.Д. Методика изучения интенсивности и динамики локального растворения в сульфатных породах // Методики изучения карста. – Пермь: ПГУ, 1985. – С. 39-40.
- Ковальчук І. П., Каганов Я., Сливка Р. Прикладна гідроекологія. – Львів: Львівський нац. ун-т, 2000. – 227 с.
- Красная пещера. Опыт комплексных карстологических исследований / Дублянський В.Н., Вахрушев Б.А., Амеличев Г.Н., Шутков Ю.И. – Москва: РУДН, 2002. – 170 с.
- Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. – М.: Высшая школа, 1974. – 400с.
- Макаев А. А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1971. – 214 с.
- Максимович Г. А. Основы карстоведения. – Пермь: ПГУ, 1963. – Т.1. – 444 с.
- Максимович Г. А. Основы карстоведения. – Пермь: ПГУ, 1969. – Т.2. – 529 с.
- Овражная эрозия / Косов Б.Ф., Зорина Е.Ф., Любимов Г.П., Морякова Л.А. и др. – М.: МГУ, 1989. – 168 с.
- Сафьянов Г.А. Абразионное действие обломочного материала в береговой зоне // Океанология. – 1965. – Т. 5. – Вып.2. – С.304-310.
- Соколов Д.С. Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 322 с.
- Чижишев А.Г. Проблемы изучения карста Русской равнины. – М.: МГУ, 1979. – 304 с.
- Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. – М.: Прогресс, 1979. – 368 с.
- Ярг Л.А., Вязкова О.Е., Кувшинников В.М. Растворимость элювия карбонатных пород в условиях техногенного воздействия // Ред.журнал Известия вузов. Геол.разведка. – М., 1988. – 9 с. – Деп. В ВИЭМС, 02.12.88, № 671 – 88.
- Burder A., Dubertret L. Hydrogeology of karstic terrains. – P., 1975. – 221 p.
- Corbel J., Stchouzo T. Chemical erosion in the Moravicu karst // Hrobl. jf the spel. res. – Prague, 1965. – P. 83 – 97.
- Dreybrodt W., Gabrovšek F. Dynamics of the evolution of single karst conduit. In: A. Klimchouk et al (Editors), Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. – Huntsville: Natl. Speleol. Soc., 2000. – P. 184-193.
- Ford D.C. Development of Limestone caverns // Intern. Geogr. Montreal, 1972. – Vol. 2. – P. 1012-1029.
- Klimchouk, A., Ford, D. Palmer, A., Dreybrodt, W. (Editors). Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. – Huntsville, Alabama, 2000. – 527 p.
- Palmer R., Williams D. Cave development under Andros Island // Trans. BCRA. – 1984. – Vol. 11. – № 1. – P. 111-127.
- Palmer A.N. Digital Modeling of individual Solution Conduits. In: A. Klimchouk et al (Editors), Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. – Huntsville: Natl. Speleol. Soc., 2000. – P. 194-200.
- Pulina M. Observations on the chemical denudation of some karst areas of Europe and Asia // Studia Geomorphologica Garpatho-Balcanica. – Kracow, 1971. – Voes. – P. 49 – 59.