

К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КАРСТОВОЙ ДЕНУДАЦИИ НЕКОТОРЫХ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ МАССИВОВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Изучение химической денудации является одной из актуальных проблем современной геоморфологии. По мнению известного исследователя карста И. Гамса [1] коррозия карбонатов должна быть признана одним из основных рельефообразующих процессов во всем мире.

Исследования по количественной оценке химической денудации на Западном Кавказе начались в 40-х годах, когда впервые был вычислен показатель активности карстового процесса для Сочинского района [2]. В следующие десятилетия этими вопросами занимались многие исследователи [3—12 и др.]. При этом расчет показателей выполняется различными методами, описание которых приводится во многих работах [13, 14 и др.].

В настоящей статье содержатся данные по интенсивности поверхностной ($D_{\text{кп}}$) и глубинной ($D_{\text{кг}}$) составляющих карстовой денудации шести известняковых массивов Западного Кавказа, рассчитанные по формуле:

$$D = 0,0126 \cdot \Delta C \cdot M,$$

где D — химическая денудация, мм/1000 лет; 0,0126 — переводной объемный коэффициент; $\Delta C = C - C_a$; C — среднее содержание солей в поверхностных и подземных водах, мг/л; C_a — средняя минерализация атмосферных вод, мг/л; M — модули поверхностного и подземного стока, л/с·км².

При этом для расчета $D_{\text{кп}}$ в формулу вводились значения модулей поверхностного стока и поправки на минерализацию атмосферных осадков, а $D_{\text{кг}}$ — значения модулей подземного стока в реки. Сумма полученных величин характеризует общую карстовую денудацию — $D_{\text{кю}}$.

Массив Фишт — Оштен — плато Лагонаки расположен на границе северо-западного и западного сегментов Большого Кавказа и образует верхний ярус рельефа (1200—2868 м) в верховьях р. Белой и ее левых притоков — Пшехи и Курджипса. Высокая часть массива сложена карбонатными породами верхней юры мощностью до 1100 м, к периферии плато эти образования фациально замещаются терригенно-карбонатными флишoidalными накоплениями верхней юры и мела. В связи с приуроченностью массива к зоне Пшехско-Адлерских поперечных глубинных нарушений породы отличаются интенсивной тектонической раздробленностью. Карбонатный состав и высокая степень трещиноватости пород способствуют активному развитию карста: широко представлены карры, ниши, воронки, котловины, шахты и пещеры.

Активности процесса способствуют и благоприятные климатические условия. Годовое количество атмосферных осадков достигает 2000—2500 мм, отрицательные среднемесячные температуры воздуха отмечаются с ноября по март. Карстовая денудация осуществляется в течение всего года [6], однако зимой она замедляется из-за образования подснежной ледяной корки.

Значения модулей поверхностного водного стока изменяются от 30 л/с·км² в бассейнах рек Курджипса и Цице (приток р. Пшехи) до 40 л/с·км² в верховьях р. Пшехи [15, 16], модули подземного стока достигают 10—12 л/с·км² [17, 18]. Концентрация солей в поверхностных водах охарактеризована данными 25 анализов [15, 16, 19]. Она изменяется в средних значениях для водотоков от 76,6 (верховья р. Пшехи) до 283,0 мг/л (р. Серебрячка), а для карстовых и ледниково-карстовых озер — от 49,0 до 198,0 мг/л. Минерализация подземных вод по данным 32 анализов меняется от 196,0 (ближний воклюз в долине Курджипса) до 504,8 мг/л (исток р. Бзыхи). Содержание солей в атмо-

сферных осадках по аналогии со смежным районом принято равным 15,0 мг/л [20].

Проведенными расчетами установлено, что показатель $D_{\text{кп}}$ в пределах массива изменяется от 12,9 (озеро в 2 км к северо-западу от горы Мессо) до 101,3 мм/1000 лет (р. Серебрячка), в среднем составляя 47,1 мм/1000 лет. Значения $D_{\text{кп}}$ колеблются в менее широком диапазоне — от 24,7 (ближний воклюз в долине Курджипса) до 63,6 мм/1000 лет (исток р. Бзыхи), в среднем характеризуясь величиной 45,1 мм/1000 лет. Общая карстовая денудация составляет, таким образом 92,2 мм/1000 лет (таблица).

Интенсивность карстовой денудации некоторых известняковых массивов Западного Кавказа

Массив	Верхний предел абс. отметок, м	Осадки, мм/год	Карстовая денудация, мм/1000 лет		
			$D_{\text{кп}}$	$D_{\text{кг}}$	$D_{\text{ко}}$
Северный склон					
Фишт — Оштен — плато Лагонаки	2868	2000—2500	47,1	45,1	92,2
Скалистый хр.	1751	1000—1500	33,2	49,8	83,0
Пастбищный хр.	1000	600—800	16,8	25,1	41,9
Среднее			32,4	40,0	72,4
Южный склон					
Арабика-Бзыбский	2757	1500—2500	94,2	111,7	205,9
Абхазское известняковое среднегорье	1387	1800—2000	82,1	117,8	199,9
Ахцу — Алек	1100	2200—2500	64,2	66,1	130,3
Среднее			80,2	98,5	178,7
Западный Кавказ в целом			56,3	69,3	125,5

Оценка интенсивности карстовой денудации двух других массивов северного склона Западного Кавказа — Скалистого и Пастбищного хребтов — проведена по данным П. А. Костина [5, 6].

Скалистый хребет протягивается между реками Белой и Кубанью и представляет собой среднегорную куэстовую гряду, верхняя треть которой сложена карбонатными породами и гипсами верхней юры. Абсолютные высоты нарастают в юго-восточном направлении от 700 до 1751 м. Глубокими долинами левых притоков Кубани (Белая, Лаба, Уруп) хребет расчленен на ряд изолированных блоков, на северных пологих склонах которых развит карст — карры, воронки, пещеры и пр.

В связи с незначительными высотами и удаленностью от моря количество выпадающих осадков сравнительно невелико — 1000—1500 мм в год. Значения модулей поверхностного стока составляют 8—10 [16, 21], а подземного — 5—7 л/с·км² [17, 18].

Показатель поверхностного растворения пород составляет 33,2, глубинного — 49,8 мм/1000 лет [4—6], а общая карстовая денудация ($D_{\text{ко}}$) характеризуется величиной 83,0 мм/1000 лет (таблица).

Пастбищный хребет расположен севернее Скалистого и отделен от него нижнемеловой депрессией. Это длинная, но узкая куэста из флишевых пород верхнего мела высотой до 1000 м над ур. м. Долинами рек Лабы, Урупа и их притоков хребет разобщен на ряд разновеликих блоков. Формы карста в связи с флишевым характером субстрата развиты слабо.

Годовое количество выпадающих атмосферных осадков сокращается здесь до 600—800 мм, модули поверхностного стока составляют всего 6—8 [16, 21], а подземного — 4—5 л/с·км² [17, 18].

Показатель поверхностного растворения составляет в среднем 16,8, глубинного — 25,1 мм/1000 лет [4, 5], а общая карстовая денудация характеризуется, следовательно, величиной 41,9 мм/1000 лет (таблица).

Следует подчеркнуть, что полученная нами для массива Фишт — Оштен — плато Лагонаки величина $D_{\text{кп}}$ в 1,85 раза ниже суммарного растворения, указанного для бассейна р. Курджипса П. А. Костиним [4, 5]. Особенно ошутимо различие в показателях глубинной составляющей денудации: по нашим расчетам на ее долю приходится 49% общей карстовой денудации, а по данным П. А. Костина — 60%; завышены, вероятно, и показатели для Скалистого и Пастбищного хребтов. Скорее всего завышение относится к глубинной составляющей, ибо и по другим источникам [22] величины поверхностного и подземного химического стока для бассейнов Азовского и Черного морей почти равны. Вероятно прав был в свое время Н. А. Гвоздецкий [13], подчеркивший некоторую завышенность данных П. А. Костина.

Арабика-Бзыбский массив объединяет Гагрский (2757 м) и Бзыбский (2634 м) хребты и является одним из наиболее высоких и орографически четко изолированных массивов западно-грузинского карста.

Глубокими долинами рек Псоу, Хошупсе, Жовеквары, Бзыби, Хипсты, Баклановки и др. массив расчленен на отдельные блоки. Отроги Гагрского хребта местами уходят под уровень Черного моря, создавая условия для субмаринной разгрузки карстовых вод [23]. Сложен массив известняками верхней юры и мела, достигающими мощности 2,0—2,5 км. Он разбит многочисленными разрывными нарушениями, испытал плейстоценовое оледенение и интенсивно закарстован. Наряду с поверхностными формами (карры, воронки, котловины и др.) широко представлены подземные полости, исследованная глубина которых превышает 1300 м (пропасть Снежная в Бзыбском хребте).

Количество выпадающих атмосферных осадков изменяется от 1500 мм/год в нижнем ярусе рельефа до 2200—2500 мм/год в высокогорье. На отметках 1600—2100 м над ур. м. 4—5 месяцев в году средняя суточная температура воздуха ниже 0°, что сдерживает ход карстового процесса. Следствием этого служит обилие недоразвитых и слабо раскрытых карстовых форм на вершинных поверхностях [23].

Значения модулей поверхностного стока изменяются здесь от 30 до 70 л/с·км² [21, 24], а модули подземного стока в реки достигают 40 л/с·км² [17, 25]. Минерализация поверхностных вод характеризуется данными 53 анализов [7, 8, 23, 24]. Для семи водотоков она изменяется от 75,3 (р. Сандрипш, бассейн Хошупсе) до 424,9 мг/л (среднее течение р. Сандрипш). Концентрация солей в подземных водах по данным 11 анализов от 170,1 (р. Мчишта — исток) до 348,7 мг/л (источник Хошупсе). Содержание солей в атмосферных осадках на разных высотных уровнях изменяется в пределах 20—40 мг/л [26, 27].

Расчетами установлено, что показатель $D_{\text{кп}}$ изменяется от 58,1 (р. Мехадыр) до 156,0 мм/1000 лет (р. Хошупсе), в среднем характеризуясь величиной 94,2 мм/1000 лет. Значения показателя $D_{\text{кп}}$ возрастают от 85,6 (р. Мчишта — исток) до 175,7 мм/1000 лет (источник Хошупсе). Общая карстовая денудация ($D_{\text{кп}}$) составляет 205,9 мм/1000 лет (таблица).

Полученные нами данные весьма близки к рассчитанным для этого района ранее. Так, для массива Арабика Т. З. Кикнадзе [7] приводит следующие значения: поверхностное растворение — 49,5—130,6 мм/1000 лет; глубинное растворение — 74,3—175,2 мм/1000 лет; общая карстовая денудация в низкогорье — 148, 5, в высокогорье — 350,1 мм/1000 лет. Химическая денудация Бзыбского хребта, по уточненным данным этого исследователя, составляет 100,0 мм/1000 лет [9].

Наши расчеты подтверждают точку зрения Т. З. Кикнадзе и З. К. Тинтилозова об активизации карстовой денудации с высотой.

Так, показатель $D_{\text{кп}}$ в среднем значении увеличивается от 61,8 мм/1000 лет в низкогорной черноморской зоне до 118,5 мм/1000 лет в среднегорье и нижнем ярусе высокогорья. Это объясняется как общей тенденцией активизации денудационных процессов по мере роста высотных отметок (до определенного рубежа), так и широким развитием карстовых форм, занимающих на вершинных выположенных поверхностях массива Арабика 100, а Бзыбского хребта — 150 км² [23].

Абхазское известняковое среднегорье охватывает в междуречье Гумиста — Мокви ряд массивов высотой до 1100—1387 м над ур. м., разобленных долинами рек Западной и Восточной Гумисты, Келасури, Беслетки, Кодори и др. Район сложен породами от мелового до неогенового возраста, в которых выделяются два водоносно-карстующихся горизонта. Нижний сложен известняками валанжина-баррема (80—430 м), верхний — слоистыми известняками верхнего мела и мергелистыми известняками палеогена (300—850 м). В связи с интенсивной трещиноватостью карбонатных пород широко развит карст — воронки, котловины, карстовые источники, пещерные системы (Келасурская, Амткельская, Абрскил и др.).

Благоприятствует карстовой денудации и климат. Осадков выпадает много — 1800—2000 мм в год, среднегодовая температура воздуха повсеместно положительная. Об активности карстового процесса свидетельствуют не только гигантских размеров воронки на поверхности южных пологих хребтов, но и большое число глубинных форм в низкогорье [9, 23].

Модули поверхностного стока составляют здесь 30—40 л/с·км² [21, 24], а подземного стока — до 30 л/с·км² [17, 25]. Минерализация поверхностных вод варьирует от 120,0 (озеро Амткел и р. Джампал) до 360,0 мг/л (левый приток р. Маджары) [9], концентрация солей в 10 пробах подземных вод изменяется от 120,0 (воклюз Карасу) до 470,0 мг/л (источник в с. Полтавском) [9, 23], а содержание солей в атмосферных осадках достигает 30—40 мг/л [26, 27].

Установлено, что значения показателя $D_{\text{кп}}$ изменяются от 45,4 (бассейны оз. Амткел и р. Джампал) до 121,0 мм/1000 лет (бассейн р. Маджары), в среднем составляя 82,1 мм/1000 лет. Показатель $D_{\text{кп}}$ варьирует от 45,4 (воклюз Карасу) до 177,7 мм/1000 лет (источник в с. Полтавском), характеризуясь средней величиной 117,8 мм/1000 лет. Общая карстовая денудация составляет здесь 199,9 мм/1000 лет (таблица).

Рассчитанный нами показатель $D_{\text{кп}}$ оказался достаточно близким к значениям, полученным для междуречья Келасури — Кодори с использованием иной методики [9]. Характерно, что в обоих случаях интенсивность процесса оказалась большей в юго-западной части района, чем в северо-восточной: 108,7 против 55,4 мм/1000 лет по нашим данным и 121,8 против 56,7 мм/1000 лет — по расчетам Т. З. Кикнадзе.

Массив Ахцу — Алек представлен вытянутыми в одну линию под углом к берегу моря хребтами Алек и Ахцу, расположенными на удалении до 25 км от него. Массив дренируется средними течениями рек Сочи, Мзымты и Псоу, а также верховьями Мацесты, Хосты и Кудепсты. Высота хребтов от 800 до 1100 м над ур. м., северные их склоны пологи, южные, напротив, короткие и крутые. Консеквентной речной сетью массив расчленен на ряд блоков. В долине р. Мзымты ущелье Ахцу врезано на глубину 850—900 м.

В осевых зонах горст-антиклинальные поднятия Алек и Ахцу сложены мощной толщей верхнеюрских рифогенных известняков, на крыльях развиты меловые карбонатные отложения. Поперечными тектоническими нарушениями массив разбит на серию ступеней, понижающихся в северо-западном направлении. С северо-востока массив ограничен продольным Кепшинским, а с юго-запада — Монастырским разломами [12].

Широкое развитие дислоцированных карстующихся пород подчеркивается многообразием как поверхностных, так и подземных форм карста. К хребту Алек приурочена крупная шахта-понор Назаровская

длиной 3970 м и глубиной 500 м. Благоприятствует карстовой денудации и гидротермический режим: осадков выпадает 2200—2500 мм в год, среднегодовая температура воздуха составляет 9,6°.

Значения модулей поверхностного стока составляют 40—50 л/с·км² [21, 24], подземного — 35—40 л/с·км² [17, 28]. Минерализация поверхностных вод в среднем значении изменяется по данным 64 анализов от 124,7—143,8 мг/л (инфлюационные воды) до 150 мг/л (карровые воды хребта Ахцу) [12]. Концентрация солей в подземных водах по результатам 221 анализа [11, 12] составляет для подземных водотоков 114,3—146,0, для источников — 140,0—157,9 мг/л.

Проведенные расчеты показали, что $D_{\text{кп}}$ и $D_{\text{кр}}$ характеризуются соответственно средними величинами 64,2 и 66,1 мм/1000 лет, а общая карстовая денудация составляет 130,3 мм/1000 лет (таблица).

Указанные ранее В. Н. Дублянским с соавторами [12] значения общей химической денудации хребтов Ахцу и Алек (81,7 мм/1000 лет) и ее подземной составляющей (49,7 мм/1000 лет) являются, на наш взгляд, несколько заниженными.

Сравнительный анализ полученной количественной информации позволил получить следующие выводы.

1. Наибольшим средним показателем $D_{\text{кю}}$ характеризуется высокогорный Арабика-Бзыбский массив, что определено весьма благоприятными геолого-геоморфологическими и климатозональными условиями.

2. Интенсивность карстовой денудации на южном склоне Западного Кавказа по всем показателям почти в 2,5 раза выше, чем на северном, что обусловлено в первую очередь различиями в гидротермическом режиме.

3. На обоих склонах показатели растут от низкогорья к среднегорью и нижнему ярусу высокогорья вместе с увеличением степени увлажненности и ростом энергии рельефа. По интенсивности процесса Абхазское известняковое среднегорье приближается к Арабика-Бзыбскому массиву, что определяется, вероятно, меньшей степенью промытости меловых и особенно третичных карбонатных пород в сравнении с верхнеюрскими известняками.

4. Отношения между $D_{\text{кп}}$ и $D_{\text{кр}}$ в большинстве случаев близки к 0,7. Для массивов Фишт—Оштен—плато Лагонаки и Ахцу—Алек они приближаются к 1, что обусловлено широким развитием в их пределах горного голого карста.

5. Общая карстовая денудация Западного Кавказа в целом составляет 125,5 мм/1000 лет при величине отношения между поверхностной и глубиной составляющей 0,8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамс И. Химическая эрозия как рельефообразующий климатозональный фактор.— В кн.: XXIII МГК, Москва, 1976. Секция I. Геоморфология и палеогеография. М., 1976, с. 141.
2. Родионов Н. В. Некоторые данные о скорости развития карста в карбонатных породах.— Тр. Лаборатории гидрогеол. проблем АН СССР. М., 1949, т. 6, с. 142.
3. Алекин О. А., Бражникова Л. В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М.: Наука, 1964, 144 с.
4. Костин П. А. Карст Передового хребта и полосы куэст Северо-Западного Кавказа. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1966. 22 с.
5. Костин П. А. Опыт применения количественного метода к изучению горного карста.— Вестн. МГУ. География, 1967, № 3, с. 11.
6. Костин П. А. Карст массивов Фишт, Оштен, плато Лагонаки и прилегающих территорий.— В кн.: Сев. Кавказ. Ставрополь, 1969, с. 52.
7. Кикнадзе Т. З. Карст массива Арабика. Тбилиси: Мецниереба, 1972, 248 с.
8. Кикнадзе Т. З. Гидрогеологические условия и активность карстовых процессов в бассейне источника Мчишта (Бзыбский массив).— В кн.: Гидрогеология и карстование. Пермь, 1974, вып. 5, с. 158.
9. Кикнадзе Т. З. О подземных бассейнах карстовых вод и интенсивности карстовых процессов междуречья Келасури—Кодори.— В кн.: Пещеры Грузии. Тбилиси, 1978, вып. 7, с. 12.
10. Кочетов Н. И. Количественная оценка химической денудации на Западном Кавказе по гидрохимическим данным.— Геоморфология, 1976, № 3, с. 61.

11. Дублянский В. Н., Брель Т. М. Гидрохимия карстового массива Алек.— В кн.: Геохимия ландшафтов и подземных вод. Тр. Кубанского гос. ун-та. Краснодар, 1977, вып. 239, с. 136.
12. Дублянский В. Н., Клименко В. И., Прокофьева С. С. Изучение карстовых полостей и подземных вод карстовых массивов Западного Кавказа (Методические рекомендации). Сочи, 1979, 114 с.
13. Гвоздецкий Н. А. Применение количественных методов для определения карстовой денудации.— Вестн. МГУ. География, 1970, № 4, с. 19.
14. Чикишев А. Г. Методика изучения карста. М.: Изд-во МГУ, 1973, 86 с.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ (Под ред. Куприянова В. В.). Л.: Гидрометеоздат, 1973, 448 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 8. Северный Кавказ (Под ред. Глуховой А. И.). Л.: Гидрометеоздат, 1975, 248 с.
17. Амусья А. З., Ратнер Н. С. Об оценке подземного стока в горные реки Кавказа.— В кн.: Вопросы изучения подземного стока в реки. Тр. ГГИ, вып. 114. Л.: Гидрометеоздат, 1964, с. 137.
18. Клименко В. И. Оценка ресурсов подземных вод в сложных гидрогеологических условиях. М.: Наука, 1974, 92 с.
19. Лозовой С. П. Карстовые и ледниково-карстовые озёра плато Лагонаки.— В кн.: Гляциология Сев. Кавказа. Л.: Гидрометеоздат, 1980, вып. 17, с. 129.
20. Куцева П. П., Коновалов Г. С., Людовских Д. Е. Гидрохимический очерк р. Уруп.— В кн.: Гидрохимические материалы, 1968, т. 48, с. 4.
21. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоздат, 1962, 546 с.
22. Макаренко Ф. А., Зверев В. П., Кононов В. И. О подземном химическом стоке на территории СССР.— Докл. АН СССР, 1968, т. 179, № 1, с. 183.
23. Тинтилозов З. К. Карстовые пещеры Грузии. Тбилиси, 1976, 276 с.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. I. Западное Закавказье (Под ред. Зулиашвили Э. Г.). Л.: Гидрометеоздат, 1977, 360 с.
25. Подземный сток на территории СССР (Под ред. Куделина Б. И.). М.: Изд-во МГУ, 1966.
26. Колодяжная А. А. Режим химического состава атмосферных вод и их метаморфизация в зоне аэрации. М.: Наука, 1963, 167 с.
27. Супаташвили Г. Д. Гидрохимическая характеристика атмосферных осадков на территории Грузинской ССР.— Тр. Тбилисского гос. ун-та. Тбилиси, 1968, т. 126.
28. Клименко В. И. Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена участка Черноморского побережья Кавказа от Туапсе до Адлера.— В кн.: Проблемы инженерной геологии Сев. Кавказа. Вып. 5. Сочи, 1973, с. 172.

Кубанский государственный университет

Поступила в редакцию
10.III.1981г

ON COMPARATIVE ESTIMATION OF KARST EROSION INTENSITY AT SOME LIMESTONE MASSIFS OF WEST CAUCASUS

КОСЧЕТОВ Н. И.

Summary

Geologic-geomorphic and climatic control of the karst erosion rate is considered. The maximum mean index of general karst erosion (205,9 mm per 1000 v.) is defined at Arabica-Bzyb massif at the southern slope, the mean value for the whole West Caucasus being about 125,5 mm per 1000 y. The rate of karst erosion at the southern slope is proved to exceed this of the northern slope by factor of 2,5, mostly due to hydrothermal regime differences. At both slopes the erosion rate is noted to increase from low mountains towards middle mountains and the lower part of alpine belt, which is accounted for by the increase in humidity and relief's energy. Surficial to deep karstic erosion ratio is mostly about 0,7. The ratio is about 1 at massif Fisht—Oshlen, Lagonaki Plateau and Ahtsu-Alek which depends directly on the naked karst widespread over the areas.