

УДК 551.44

**ХИМИЧЕСКАЯ ДЕНУДАЦИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АКТИВИЗАЦИИ
КАРСТА В ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА
(НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СИМФЕРОПОЛЯ)**

Амеличев Г. Н., Токарев С. В., Вахрушев Б. А.

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Таврическая академия, Учебно-методический научный центр «Институт спелеологии и карстологии», Симферополь, Российская Федерация

E-mail: iks0324@yandex.ru

Работа посвящена изучению вопросов, связанных с оценкой активизации карстового процесса на закарстованных территориях, находящихся в пределах крупных муниципальных образований. В качестве оценочного критерия выбрана величина химической денудации, которая чутко реагирует на изменения количества и состава выносимых подземными водами растворенных веществ, являющихся результатом хозяйственной деятельности человека. В работе отмечены основные положения методики оценки, охарактеризованы расчетные водосборы и приведены величины химической денудации в них. Установлено, что на участке исследования интенсивность карстового процесса в 2–2,5 раза выше, чем фоновые значения в пределах не нарушенных хозяйственной деятельностью ландшафтов. Активность карстового процесса на порядок превышает показатели, характерные для Главной гряды горного Крыма.

Ключевые слова: химическая денудация, карст, подземный сток, речной бассейн, водосбор, активизация карстового процесса, урбанизованная территория, Симферополь.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее информативных методов изучения карста является величина химической (карстовой) денудации. Как правило, этот показатель используется для региональных сравнений интенсивности карстовых процессов, выявления их широтной зональности и высотной поясности, объяснения локальных особенностей карстогенеза. На обзорном и региональном уровне карстологических исследований величина химической денудации может выступать как критерий для осуществления районирования карста. Реже химическая денудация используется для установления связей между скоростью карстового процесса и морфологией карстовых форм. Быстрая реакция карстовых систем на изменяющиеся объемы и качество взаимодействующих с растворимой породой подземных вод позволяет использовать это обстоятельство для оценки антропогенной составляющей в формировании химической денудации на территории городов. Это явилось главной целью данного исследования.

1. ТЕРМИНОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

В карстологической и инженерно-геологической литературе существует множество трактовок химической денудации [1], известно более десятка формул для расчета ее интегрального значения и производных показателей [2]. Полученные величины могут именоваться активностью (интенсивностью) карстового процесса [3, 4], скоростью карстовой денудации [5 и др.], карстовой коррозии [6],

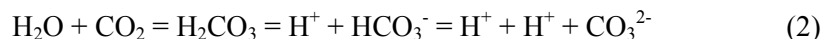
климатической коррозии [7], внутренней абляции [8], карстовой эрозии [9]. По мнению В. Н. Дублянского [2], наиболее целесообразно применение термина «химическая денудация», под которым понимается количество растворенного материала, вынесенное за единицу времени с поверхности и недр массива. Формы представления вынесенного материала могут быть различными: в виде мощности слоя, равномерно распределенного по площади всего массива (мкм/год, мм/1000 лет); в виде объемных или весовых единиц, приходящихся на единицу площади ($\text{м}^3/\text{км}^2\text{год}$, $\text{т}/\text{км}^2\text{год}$).

При оценке химической денудации разные исследователи используют различные методические подходы и способы расчета. Одни оценивают величину химической денудации только по выносу растворенного CaCO_3 , другие учитывают также карбонат магния. Отдельные исследователи предлагают рассчитывать величину химической денудации по разности содержания растворенных компонентов в карстовых водах и атмосферных осадках либо прибегают к использованию эмпирических зависимостей, связывающих величину химической денудации с каким-либо фактором (например, количеством осадков). Это ведет к большому разбросу значений, рассчитанных для одной и той же территории разными способами.

В основе рассмотренных выше методик расчета лежит широко известная в гидрологии формула ионного стока [10]:

$$R = AQC \quad (1),$$

где: R – величина ионного стока ($\text{г}/\text{с}$, $\text{т}/\text{год}$, $\text{м}^3/\text{год}$); A – коэффициент размерности, зависящий от выбранных единиц измерения ионного стока; Q – расход потока через расчетный створ ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{л}/\text{с}$); C – содержание основных ионов растворенных веществ ($\text{мг}/\text{л}$). Она соответствует следующим необходимым требованиям. В нее входит величина поверхностного и/или подземного стока, полученная на основе водобалансовых расчетов. В качестве показателя величины стока используется расход. Расчет ионного стока производится не по содержанию ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} или HCO_3^- , а по общей минерализации. При этом из суммы всех ионов следует отнять половину содержания ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} , так как в соответствии с реакцией



образуется избыточное количество этих ионов, не эквивалентное количеству растворимого известняка [11]. Таким образом, удаляется часть гидрокарбонат- и карбонат-ионов, не участвовавших в процессе растворения. Кроме того, должна учитываться минерализация атмосферных осадков или транзитных поверхностных вод, поступающих в пределы развития карстующихся пород.

В итоге для расчета интегральной величины химической денудации и активности карстового процесса необходимо иметь следующие данные: площадь (км^2) и объем (м^3) массива, участка; средние значения минерализации источников,

поверхностных вод, осадков, концентрации HCO_3^- и CO_3^{2-} (мг/л), суммарного расхода (л/с, м³/с) на замыкающем створе. Процедура расчета приведена ниже:

1. Определяется приращение минерализации (ΔM , мг/л) путем вычитания из средней минерализации источника средней минерализации осадков:

$$\Delta M = M_{\text{ист.}} - M_{\text{осад.}} \quad (3).$$

2. Концентрация основных ионов (C , мг/л), образовавшихся в процессе растворения, не должна содержать компоненты, не участвовавшие в реакции. Поэтому из приращения минерализации, согласно формуле (2), удаляется избыточное содержание карбонатных ионов, количество которых определяется в ходе гидрохимических анализов или через эмпирические зависимости (например, между HCO_3^- и общей минерализацией):

$$C = \Delta M - (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})/2 \quad (4).$$

3. В соответствии с формулой (1) рассчитывается ионный сток R , г/с.

4. Определяется годовой вынос W растворенных веществ в тоннах:

$$W = RT \quad (5),$$

где: T – число секунд в году – $31,54 \cdot 10^6$.

5. Годовой вынос переводится из весовой формы в объемную (V , м³) делением на плотность известняка ($\rho = 2,7 \text{ т/м}^3$):

$$V = W/\rho \quad (6).$$

6. Величина химической денудации (CD , мкм/год) вычисляется путем деления годового объема вынесенного из массива растворенного материала на площадь массива:

$$CD = V/F \quad (7),$$

где: F – площадь (км²) массива, водосбора, участка.

7. Показатель активности карстового процесса (A , %) рассчитывается в соответствии с формулой Н. В. Родионова [3]:

$$A = (V^*/v) \cdot 100 \% \quad (8),$$

где: V^* – объем растворенного материала за 1000 лет (м³), v – объем карстового массива (м³).

Таким образом, химическая денудация и активность карстового процесса являются теми показателями, которые отражают внутреннюю взаимосвязь основных условий развития карста [12] и степень благоприятности процессу

ведущих факторов карстообразования [13; 14], а также выступают количественным выражением свойства эмерджентности карстовой геосистемы.

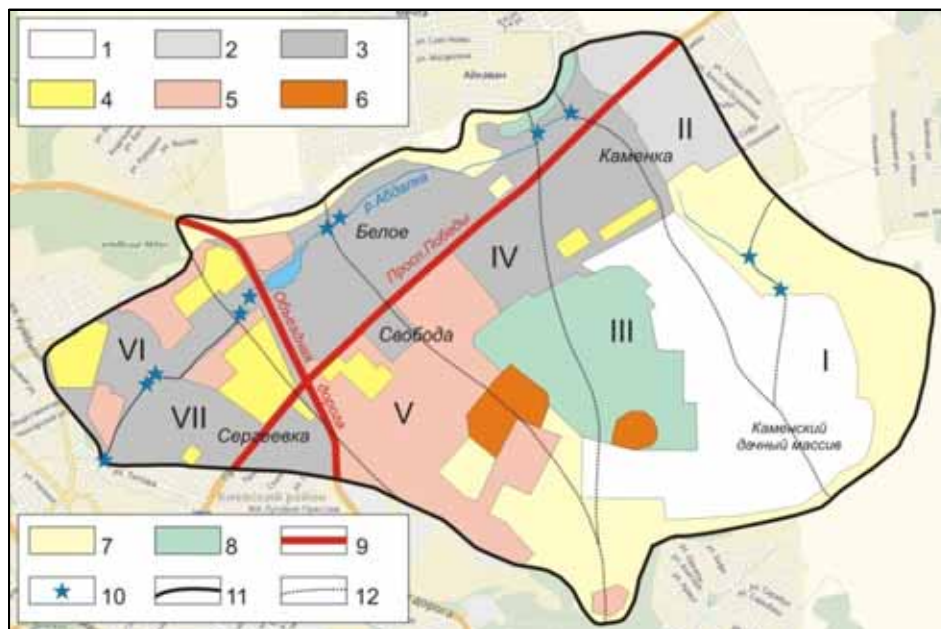
2. ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Для выявления антропогенной составляющей в закарстовании территории с высоким уровнем урбанизации в качестве эталонного участка была взята восточная окраина города Симферополя. Здесь располагается небольшой речной бассейн, воды которого имеют преимущественно карстовое происхождение и на 85–100 % обеспечивают поверхностный сток р. Абдалки. Сама река является правым притоком более крупного водотока – р. Малый Салгир – и впадает в него на расстоянии 2,1 км от устья последнего. Бассейн оконтурен водоразделами, совпадающими с гребнями Внутренней и Внешней куэстовых гряд, и полностью укладывается в пределы Северной продольной депрессии. На структурном склоне Внутренней гряды он сложен среднеэоценовыми нуммулитовыми известняками, образующими погружающийся к северу водоносный горизонт. В днище продольной депрессии известняки перекрываются верхнеэоценовыми мергелями, на которые, в свою очередь, налегают суглинки, известняки-пудинги и конгломераты среднего и верхнего миоцена (Южный склон Внешней гряды). Дренирующая бассейн река Абдалка имеет протяженность 9 км, среднюю высоту бассейна 286 м и водосборную площадь 23,4 км² [15, с.273]. По бассейну имеется 3-летний цикл гидрологических и карстолого-гидрогеологических наблюдений.

Карстовые воды в бассейне разгружаются через 11 источников, которые приурочены исключительно к руслу или пойме р. Абдалки. По условиям разгрузки и режиму гидрологических параметров они объединены в 7 групп. Каждой группе внутри речного бассейна соответствует свой микроводосбор (Рис. 1), границы которого определены с учетом новейших карстологических и гидрогеологических исследований [16, 17, 18, 19]. Они выделялись по условиям залегания водоносных горизонтов, направлению движения карстовых вод, наличию разрывных нарушений и связанных с ними гидрогеологических экранов и барражей, а также по высотным отметкам рельефа. Поверхности водосборов имеют разную степень хозяйственной освоенности, что отражается на характере протекания карстового процесса и позволяет провести внутриводосборные сравнения по величине химической денудации и рассчитать интегральный показатель для всего бассейна.

Водосбор I расположен в восточной части бассейна на абсолютных отметках 340–400 м. Западная половина его площади занята дачными массивами, восточная – ненарушенными степными ландшафтами верхней части структурного склона Внутренней куэстовой гряды. Водосбор дренируют два источника, расположенных в 300 м друг от друга в верховьях Каменской балки. Они имеют примерно одинаковые расходы, минерализацию и режим функционирования (Табл. 1). Статистический анализ гидрологических параметров, выполненный с помощью Н-критерия, определяющего степень однородности объектов [20], указывает, что эти источники следует относить к одной генеральной совокупности. Это дает основания считать их область питания единой.

Водосбор II находится в северо-восточной части бассейна р. Абдалки в диапазоне высот 285–390 м. Для него характерно поглощение поверхностного стока в средней части Каменской балки и движение вод под землей на протяжении более 1,5 км.



Участки: 1 – дачной застройки с сезонным характером использования земель; 2 – частной жилой застройки с отсутствием водопроводно-канализационной сети; 3 – частной жилой застройки с локальной обеспеченностью водопроводно-канализационной сетью; 4 – многоэтажной жилой застройки с централизованной водопроводно-канализационной сетью; 5 – с застройкой складскими, гаражными, торгово-промышленными сооружениями; 6 – с полигонами твердых бытовых отходов; 7 – заброшенных и незастроенных территорий с естественными и восстановившимися ландшафтами; 8 – искусственных лесонасаждений. 9 – основные дороги, 10 – родники. Границы: 11 – речного бассейна; 12 – бассейновых водосборов.

Рис. 1. Бассейн р. Абдалки и хозяйственная освоенность его водосборов (I–VII).

Около 30 % поглощенных вод так и не появляется в дренирующем водосбор источнике Верхний ключ. Более того, источник часто пересыхает в летнее время. По статистическим показателям, он существенно отличается от расположенного в 200 м к западу крупного родника Белый ключ. В середине прошлого века у автодороги Симферополь – Феодосия бурением был вскрыт эоценовый водоносный горизонт с напорными водами, которые интенсивно откачивались для хозяйственных нужд. Откачки привели к формированию депрессионной воронки и, как следствие, к провалообразованию. В хозяйственном отношении водосбор

**ХИМИЧЕСКАЯ ДЕНУДАЦИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АКТИВИЗАЦИИ КАРСТА В
ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА**

освоен слабо. Здесь располагаются участки естественных степных ландшафтов, жилые постройки частного сектора микрорайонов Каменка и Хошкельды.

Таблица 1

Статистические характеристики расхода (Q , м³/с) и минерализации (M , г/л)
карстовых источников бассейна реки Абдалки за 2014–2016 гг.

Название источника	Пара метр	Количество замеров	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Коэффициент вариации
Исток	Q	52	0,1	0,3	0,138	0,40
	M	51	0,506	0,583	0,543	0,03
Каптаж	Q	47	0,08	0,3	0,171	0,39
	M	53	0,589	0,691	0,627	0,02
Верхний ключ	Q	49	0	15	3,24	1,17
	M	40	0,682	0,781	0,733	0,03
Белый ключ	Q	66	6	64	24,28	0,53
	M	87	0,456	1,095	0,852	0,04
Белый-1	Q	54	0,1	34	11,90	0,58
	M	60	0,781	0,914	0,841	0,03
Белый-2	Q	43	0,1	50	16,40	0,64
	M	62	0,761	0,922	0,817	0,04
Сергеевский	Q	45	0,1	4	1,36	0,93
	M	53	0,591	0,898	0,670	0,08
Малый	Q	34	0,4	28	5,18	0,96
	M	55	0,304	0,671	0,617	0,10
Поворот	Q	14	0,3	5	2,38	0,70
	M	12	0,492	0,629	0,545	0,08
Ковчег (Арбат)	Q	45	1	39	10,74	0,70
	M	54	0,618	1,011	0,782	0,12
Титова	Q	52	1	54	19,69	0,46
	M	52	0,647	0,732	0,684	0,03

Водосбор III является самым крупным по площади, охватывая территории от южной границы у бровки Внутренней гряды до северной границы у бровки Внешней гряды. Он вытянут поперек структурного склона куэсты в меридиональном направлении. Ближе к западной границе водосбора протягивается крупная балка, заложение которой контролируется разрывным нарушением со следами зеркал скольжения в бортах. В верхней части водосбора на эоценовых известняках балка выражена хорошо. При переходе на мергели верхнего эоцена у источника Белый ключ она становится малозаметной. Контролирующей балку разлом является гидрогеологически активным. Он проходит под дачами Каменского

массива, городским полигоном твердых бытовых отходов (ТБО), искусственными посадками лесного массива и селитебным микрорайоном Каменка. На всем своем протяжении он аккумулирует воды, формируемые за счет полива садов и огородов, сточные воды полигона ТБО и жилых окраин Симферополя, не обеспеченных канализационными сетями. При выходе подземного стока в источнике Белый ключ наблюдаются относительно высокие показатели электропроводности и минерализации, что приводит к существенному увеличению показателя химической денудации.

Водосбор IV находится в центральной части бассейна р. Абдалки. Он вытянут более чем на 3 км в северо-западном направлении, расширяясь в низовьях до 2 км. Перепад высот в его пределах достигает 110 м. В рельефе водосбора выделяется протяженная, но слабо выраженная балка, которая начинается на территории лесного массива и впадает в р. Абдалку у источников Белый-1 и Белый-2. Верховья балки проходят рядом с заброшенным полигоном ТБО, который располагается на карьерном поле существовавшего здесь в 50–60 гг. XX в. Лихвинского месторождения пильного известняка. Средняя и нижняя части водосбора заняты преимущественно частной застройкой, в пределах которой имеется водопроводная сеть и практически отсутствует канализация. Системы подачи и отведения воды имеют высокую степень изношенности, часты порывы и утечки. Естественные дрены водосбора источники Белый-1 и Белый-2, расположенные в 150 м друг от друга, имеют сходные статистически неразличимые гидрологические параметры. Их воды характеризуются относительно высокими показателями электропроводности, минерализации, жесткости и концентрации нитратов. В меженный период фиксируется запах сероводорода. Во время застройки нижней части водосбора в 80–90-х гг. XX в. отмечались высокие уровни грунтовых вод, осложнявшие закладку фундаментов домов. После сооружения дренажных систем уровни воды в колодцах средней части водосбора упали на 2–3 м. Снижением дебита отреагировали источники. Это свидетельствует о прямой связи между подземными водами областей питания, транзита и разгрузки. Таким образом, находят объяснение низкие экологические показатели карстовых вод и высокая степень активности карстового процесса.

Водосбор V находится в центрально-западной части бассейна р. Абдалки, пересекая его с северо-запада на юго-восток от внешней гряды в районе Ялтинской объездной автодороги, до Внутренней гряды в районе г. Кара-Оба (402 м). Амплитуда абсолютных высот здесь достигает 140 м. В отличие от других водосборов территория характеризуется низкой плотностью населения и высокой долей незастроенных или заброшенных площадей. В верхней части структурного склона Внутренней гряды располагаются неосвоенные участки целинной и восстановившейся после распашки петрофитной степи, ниже по склону – заброшенные в 90-х гг. XX в. территории воинских частей и пустыри. Средняя часть водосбора занята гаражами, складскими помещениями, торговыми базами и сервисными центрами. Только нижняя часть водосбора представлена массивами частной застройки. В рельефе водосбора еще в 60–70-х гг. XX в. отмечалась маловыразительная балка, которая в ходе освоения микрорайона была взята в

трубы, а затем при строительстве Ялтинской объездной дороги засыпана. Это нарушило условия подземного стока и питание источников Сергеевский и Малый, находившихся в устье балки. После строительства они существенно снизили свой дебит, стали заиливаться.

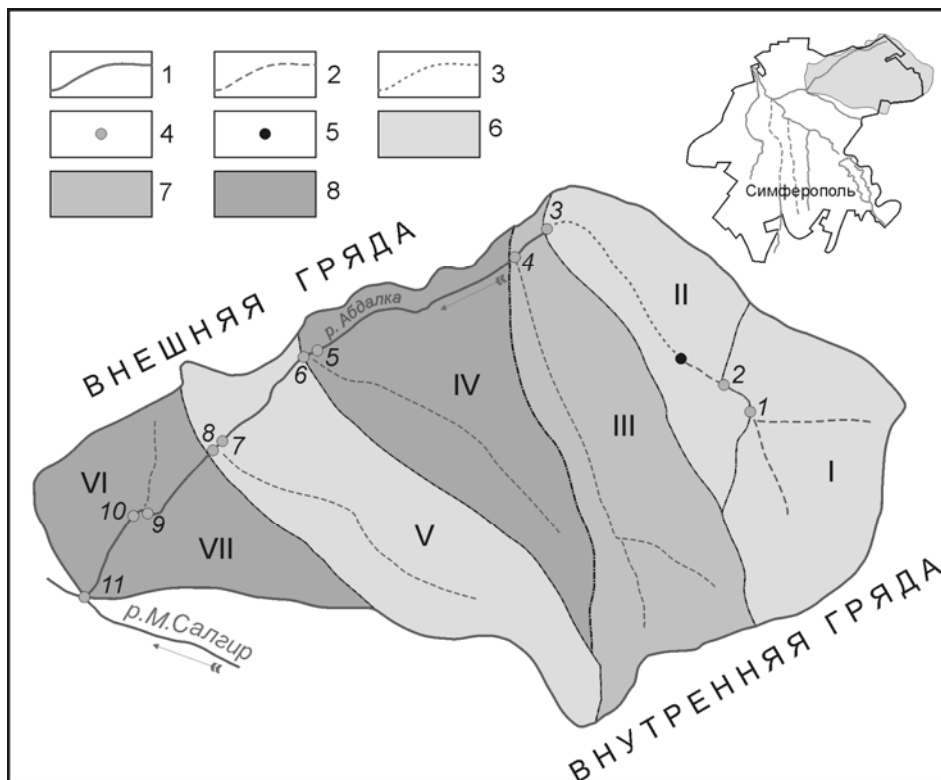
Водосбор VI располагается в западной части бассейна р. Абдалки. Это единственный участок, полностью получающий питание с правобережного борта реки. Здесь аструктурный склон Внешней гряды представляет собой небольшой амфитеатр, сложенный глинами, суглинками и мергелями верхнего эоцена и среднего миоцена, у подножия которого выходят два источника: Ковчег и Поворот. По характеру изменения расходов эти источники имеют статистическое сходство, однако по величине минерализации и ее вариации они существенно отличаются. В связи с трудностью разделения их областей питания далее водосбор рассматривается как единый. В хозяйственном отношении вся водосборная площадь представляет собой селитебный район. Большие уклоны рельефа и оползневая опасность ограничивают площади многоэтажной застройки. Частный сектор занимает 80 % территории. В нижней части водосбора распространено периодическое подтопление, что в итоге существенно активизирует карстовый процесс.

Водосбор VII расположен в юго-западной приустьевой части бассейна р. Абдалки. Верхняя точка водосбора возвышается над устьем реки на 70 м. Всю площадь занимает городской микрорайон Сергеевка с очень высокой плотностью населения (частный сектор – 100 %). Водопроводно-канализационные сети микрорайона имеют высокую степень изношенности, что обеспечивает частые утечки и поступление в карстово-водоносную систему дополнительного количества агрессивных сточных вод, активизирующих карст.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗ

Используя приведенную выше методику, для каждого водосбора рассчитали величину химической денудации (Табл. 2; Рис. 2). Ее вариация в бассейне р. Абдалки оказалась существенной – от 0,3 до 54,7 мкм/год ($C_v = 0,80$). Максимальные показатели (водосборы III, VI) достигают уровня значений, характерных для Главной гряды [21], и даже превышают их (водосборы IV, VII). Анализ характеристик этих водосборов свидетельствует, что они приурочены к наиболее заселенным и наименее благополучным в экологическом плане участкам города. Значительная активизация карстового процесса наблюдается в тех водосборах, где отсутствуют или находятся в плохом техническом состоянии системы водоотведения. Это приводит не только к загрязнению и усилению агрессивности карстовых вод, но и к развитию процессов подтопления, которыми, по оценкам Дублянской Г. Н. [17], охвачено около 50 % городских площадей Симферополя. Минимальные значения химической денудации приурочены к наименее преобразованным хозяйственной деятельностью водосборам. Здесь интенсивность карстового процесса находится в пределах норм, рассчитанных для естественных ландшафтов Внутренней гряды [17, 21] и соответствует значениям до 10–15 мкм/год. Интегральная оценка химической денудации для бассейна

р. Абдалки составляет 26,7 мкм/год, что в 2–2,5 раза выше фона для ненарушенных территорий предгорья.



1 – постоянные водотоки, 2 – балки, 3 – участок подземного течения р. Абдалка, 4 – карстовые источники (1 – Исток, 2 – Каптаж, 3 – Верхний ключ, 4 – Белый ключ, 5 – Белый-2, 6 – Белый-1, 7 – Сергеевский, 8 – Малый, 9 – Поворот, 10 – Ковчег, 11 – Титова), 5 – понор. Величина химической денудации, мкм/год: 6 – менее 20, 7 – 20–40, 8 – более 40.

Рис. 2. Распределение химической денудации в водосборах (I–VII) бассейна р. Абдалки.

Представленная в таблице 2 величина объема растворенных веществ (образовавшихся пустот) и объем пород всего бассейна, лежащих выше уровня устья р. Абдалки ($0,575 \text{ км}^3$), позволяют рассчитать значение активности карстового процесса ([3]; см. формулу 8). Оно составляет 0,109 %, что на порядок выше, чем в среднем по горному Крыму [21]. Согласно материалам Максимовича Г. А. [22], это позволяет отнести бассейн р. Абдалки к третьему классу территорий с большой активностью карста.

ХИМИЧЕСКАЯ ДЕНУДАЦИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АКТИВИЗАЦИИ КАРСТА В
ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА

Таблица 2

Дифференцированная и интегральная оценка химической денудации (CD) в
бассейне реки Абдалки

№	Водосбор источника (группы)	Площадь, км ²	Расход, м ³ /с	Минерализация, мг/л	Содержание HCO ₃ ⁻ /2, мг/л	Итоговая концентрация ионов, мг/л*	Ионный сток, г/с	Вес растворенных веществ, т	Объем, м ³	CD, мкм/год
I	Исток + Каптаж	3,50	0,31	587,6	104,7	395,9	0,1	3,2	1,2	0,3
II	Верхний ключ	2,80	3,24	732,5	119,8	525,7	1,7	53,6	19,9	7,1
III	Белый ключ	4,60	24,28	852,3	132,3	633,0	15,4	485,7	179,9	39,1
IV	Белый-1 + 2	3,96	28,30	827,1	129,7	610,4	17,3	545,6	202,1	51,0
V	Малый + Сергеевский	4,57	6,54	628,0	109,0	432,0	2,8	88,3	32,7	7,2
VI	Поворот + Ковчег	1,94	13,12	739,0	120,5	531,5	7,0	220,8	81,8	42,2
VII	Титова	2,03	19,69	684,0	114,8	482,2	9,5	299,6	111,0	54,7
	Итого	23,40	95,48				53,8	1696,8	628,6	
	Среднее			774,0	124,8	562,2				26,8

* – определена из средневзвешенной через расходы минерализации источников путем вычитания средней минерализации осадков (87 мг/л) и половинного содержания иона HCO₃⁻.

Полученные значения химической денудации следует рассматривать как заниженные в связи с тем, что в расчеты не включены данные по антропогенным утечкам из водопроводно-канализационных сетей и других сооружений. Формируемый ими подземный сток лишь отчасти разгружается через родники в р. Абдалке. Другая часть питает эоценовый водоносный горизонт и в его составе пополняет ресурсы подземных вод артезианского бассейна равнинного Крыма. Имеющиеся в литературе данные позволяют лишь весьма приближенно оценить неучтенную часть химической денудации, связанную с водопроводными потерями чистой воды. Согласно материалам справочно-аналитического издания «Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица» [15, с. 228], потери очищенной воды, не дошедшей до потребителя, по г. Симферополю составляли в 2003 г. 24,7 млн м³. При средней минерализации водопроводной воды 225 мг/л,

содержании гидрокарбонат-ионов 134 мг/л и площади города 107 км² величина химической денудации составит 13 мкм/год. Какая часть этой величины учтена в приведенных выше расчетах по бассейну р. Абдалки на нынешнем этапе исследований, сказать трудно. Кроме того, согласно данным Крымводоканала [15, с. 229], более 50 тыс. м³/сут. канализационных стоков уходит в недра и в гидрографическую сеть города, минуя очистные сооружения. Для бассейна р. Абдалки в пересчете на единицы расхода это составит более 200 л/с, что в 2 раза больше, чем среднегодовой расход самой реки.

Таким образом, необходимо продолжить исследования по выявлению антропогенных составляющих поверхностного и подземного стока и определению их долевого участия в формировании величины химической денудации и активизации карста.

ВЫВОДЫ

1. В качестве показателя активизации карстового процесса в пределах урбанизированных территорий использована величина химической денудации, под которой понимается количество растворенного вещества, вынесенное за год с поверхности и недр исследуемого участка и представленное как сухой остаток в виде мощности слоя, равномерно распределенного по всей площади. Приведены методика, требования и данные, необходимые для расчета химической денудации. Описана пошаговая процедура расчетных действий.

2. В качестве объекта исследования выбран небольшой (около 23 км²) речной бассейн р. Абдалки, который находится в восточной части столицы Республики Крым. Территория располагается в предгорном межгрядовом понижении, в пределах развития эоценовых известняков, мергелей, суглинков и четвертичных аллювиально-делювиальных отложений. Климат умеренный, полусухой, теплый с мягкой зимой. Годовое количество осадков – 539 мм, испарение – 450 мм. Бассейн дренирует единственная река Абдалка (длина 9 км, средний расход около 100 л/с), которая на 80–100 % питается карстовыми водами через 11 источников.

3. В бассейне выделено 7 водосборов, каждый из которых характеризуется разной степенью хозяйственной трансформации. Для каждого из них выполнен расчет химической денудации. Ее значения в селитебных районах с высокой плотностью населения и в слабо застроенных районах окраин города различаются на два порядка (0,3–54,7 мкм/год). Средняя величина для всего бассейна р. Абдалки составила 27 мкм/год. Это в 2–2,5 раза выше, чем фоновые значения в пределах не нарушенных хозяйственной деятельностью ландшафтов предгорья за чертой города. Активность карстового процесса в бассейне на порядок превышает показатели, характерные для Главной гряды горного Крыма.

4. Используемый метод расчета, базирующийся на данных родникового стока, лишь отчасти учитывает величину химической денудации, формируемой за счет утечек из водопроводно-канализационной сети города. Для детализации расчетов необходимо совершенствование водно-балансовых, изотопно-гидрохимических,

индикаторных и других методов определения количества и динамических параметров природных вод.

Результаты проведенных изысканий хорошо соотносятся с материалами инженерно-гидрогеологических и карстологических исследований, проведенных в 80–90-е гг. XX в. в городах Севастополе и Симферополе при изучении парагенезиса карст-подтопление [17]. Вместе с тем они формируют новые представления о характере и причинах распределения химической денудации в водосборах урбанизованных территорий, позволяют осуществлять разномасштабное картографирование и районирование карста, оценку карстовой опасности и прогнозировать темпы и объемы образования карстовых пустот.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 16–45–910583, код р_а.

Список литературы

1. Тимофеев Д. А., Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Терминология карста. М.: Наука, 1991. 260 с.
2. Дублянский В. Н. Химическая денудация карстовых регионов и методы ее определения // О передовом опыте в изучении карстовых процессов. М.: Изд-во ВСНТО, 1984. С. 5–24.
3. Родионов Н. В. Инженерно-геологические исследования при устройстве малых водоемов в гражданском и промышленном строительстве. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 182 с.
4. Чикишев А. Г. Карстовые пещеры СССР. М.: Наука, 1973. 136 с.
5. Sweeting M. Karstlandforms. Crawley, 1972. 362 p.
6. Balazs D. Kiserterek a tsiaj abatti karsztos korrozioi // Karszt es barlang. 1969. №2. S.57–60.
7. Gams I. Some morphological characteristics of the Dinaric karst // Geogr. J. 1969. №4. P.563–573.
8. Pulina M. Denudacjachemicznanaobszarahkrasuweglanowego. Wroclaw-Krakow. 1974. 159 s.
9. Зверев В. П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 156 с.
10. Михайлов В. Н., Добровольский А. Д. Общая гидрология. М.: Высшая школа, 1991. 372 с.
11. Markowicz-Lochinowicz M. Probarprzedstawieniaskladuchemicznegowodkrasowych // Speleologia. T. 7. № 1–2. 1972. S. 11–17.
12. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 320 с.
13. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: ОИГГИМ, 1992. 143 с.
14. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстоведение. Т. 1. Общее карстоведение. Пермь: Перм. ун-т, 2004. 308 с.
15. Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица. Симферополь: Сонат, 2001. 360 с.
16. Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Гидрология карста Альпийской складчатости юга СССР. М.: Наука, 1984. 128 с.
17. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст-подтопление. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1998. 204 с.
18. Дмитриева А. Ю., Самохин Г. В., Амеличев Г. Н. Карст и пещеры Симферополя (Предгорный Крым) // Ученые записки ТНУ. География. 2012. Т. 24 (63). № 4. С. 48–59.
19. Амеличев Г. Н., Дмитриева А. Ю., Самохин Г. В. Гипогенный карст Симферополя (Предгорный Крым) и его эволюция // Спелеология и карстология. 2012. № 8. С. 50–62.
20. Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1972. 294 с.
21. Дублянский В. Н., Шутов Ю. И., Амеличев Г. Н. Оценка химической денудации карстовых массивов Горного Крыма // Геологический журнал. 1990. № 4. С. 37–40.
22. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Т. 1. Пермь, 1963. 444 с.

**CHEMICAL DENUDATION AS AN INDICATOR OF ACTIVATION OF KARST IN
THE URBAN AREAS OF THE CRIMEA (FOR EXAMPLE, THE EASTERN PART OF
SIMFEROPOL)**

Amelichev G.N., Tokarev S.V., Vakhrushev B.A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea
E-mail: lks0324@yandex.ru*

The article gives the information concerning an amount of chemical (karst) denudation – a parameter that often used for assessment of karst process development conditions within certain territory. Comparing the values of chemical denudation calculated for urbanized territories and territories in natural conditions which situated in similar geologic, geomorphologic and hydro-climatic conditions, it's possible to evaluate the degree of karst process activization caused by anthropogenic influence.

Different terminological and calculated approaches for karst intensity evaluation were considered in the paper. The chemical denudation is understood as calculated amount of dissolved material taken out from surface and subsurface per time unit and evenly distributed as a layer of dry residue on all the area (mm/year). The requirements and data needed for chemical denudation calculation are given. The turn-based procedure of calculation acts was described.

The basin of Abdalka river (area about 23 km²) is situated in eastern part of the capital of Republic Crimea was chosen as research subject. The territory is situated in piedmont inter-range depression in border of occurrence of Eocene limestone, marls, loams and Quaternary alluvial-deluvial sediments. The climate is temperate, semiarid, warm with open winter. Annual amount of precipitation is 539 mm, evaporation – 450 mm. The basin is drained by only river Abdalka (length 9 km, average flow about 100 l/s), that 80–100 % feeded by karst waters from 11 springs.

There were delineated 7 watersheds within the basin. Every one of them is characterized by different degree of anthropogenic transformation. The watersheds with low-storey residential buildings dominate where a leakage of water is occurred caused by absence or age-worning of water pipes and sewerages.

Calculation of chemical denudation in each of 7 watersheds was conducted. It's value differed by two orders for residential areas with high population density and low-built areas of outskirts respectively. The calculated average value for all the basin is 27 µm/year. This value is 2–2,5 times higher than background value in the piedmont landscapes undisturbed by anthropogenic activity. The activity of karst process is one order higher than its value for the Main range of the Crimean Mountains.

The assessment method used in the work is based on springs flow data so it takes in account a value of chemical denudation originated from water-sewage systems leakage just partially. The loss of just tape water unreached consumers in Simferopol reaches 24,7 million m³/year that corresponds the chemical denudation value of 13 µm/year. More than 50 thousand m³/day (about 18 million m³/year) sewage flow in subsurface and stream network of city bypassing treatment plants. There is not enough data to calculate a value of chemical denudation for this part so far.

The data given in this paper may be valuable for karstologists, hydrogeologists, geomorphologists, engineers who work in karst regions with a high degree of economic development. It has an importance for administrative structures making decisions on planning of perspective development of municipal territories.

Keywords: chemical denudation, karst, underground drainage, river basin, catchment, intensification of karst process, urban areas, Simferopol.

References

1. Timofeev D. A., Dublyanskij V. N., Kiknadze T. Z. Terminologiyakarsta (Terminology of karst). M.: Nauka (Publ.), 1991. 260 s. (in Russ.).
2. Dublyanskij V. N. Himicheskayadenudaciya karstovyh regionov i metody ee opredeleniya (Chemical denudation in karst regions and methods of its determination). Operedovomopytevizucheniikarstovyh processov. M.: Izd-vo VSNTO (Publ.), 1984. S.5–24. (in Russ.).
3. Rodionov N. V. Inzhenerno-geologicheskiesledovaniyapriustroystvemalekxvodoemovvgrazhdanskompromyshlennomstroitel'stve (Geotechnical investigations at the device small ponds in civil and industrial construction). M.: Gosgeoltekhizdat (Publ.), 1958. 182 s. (in Russ.).
4. Chikishev A. G. Karstovyepeshery SSSR (Karst caves of the USSR). M.: Nauka (Publ.), 1973. 136 s. (in Russ.).
5. Sweeting M. Karst landforms. Crawley, 1972. 362 p.
6. Balazs D. Kisertek a tsiaj abatti karsztos korrozioroi // Karszt es barlang. 1969. №2. S.57–60.
7. Gams I. Some morphological characteristics of the Dinaric karst // Geogr. J. 1969. №4. P.563–573.
8. Pulina M. Denudacijachemicznanaobzarahkrasuweglanowego. Wroclaw-Krakow. 1974. 159 s.
9. Zverev V. P. Rol' podzemnyh vod v migracii himicheskikh elementov (The role of groundwater in the migration of chemical elements). M.: Nedra (Publ.), 1982. 156 s. (in Russ.).
10. Mihajlov V. N., Dobrovol'skij A. D. Obshhayagidrologiya (General hydrology). M.: Vysshayashkola (Publ.), 1991. 372 s. (in Russ.).
11. Markowicz-Lochinowicz M. Probaprzestawleniaskladuchemicznegowodkrasowych. Speleologia. t.7. №1–2. 1972. S.11–17.
12. Sokolov D. S. Osnovnyeusloviyarazvitiyakarsta (Main conditions of karst development). M.: Gosgeoltekhizdat (Publ.), 1962. 320 s. (in Russ.).
13. Dublyanskaya G. N., Dublyanskij V. N. Kartografirovanie, rajonirovanie i inzhenerno-geologicheskaya ocenka karstovannyh territorij (Mapping, zoning and engineering-geological assessment of karst territories). Novosibirsk, 1992. 143 s. (in Russ.).
14. Dublyanskij V. N., Dublyanskaya G. N. Karstovedenie. T.1. Obshhee karstovedenie (Karstology. Vol. 1. General Karstology). Perm': Perm. un-t, 2004. 308 s. (in Russ.).
15. Ustojchivyy Krym. Simferopol' – yuzhnayastolica (Sustainable Crimea. Simferopol – the capital of the South). Simferopol': Sonat (Publ.), 2001. 360 s. (in Russ.).
16. Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрология карста Альпийской складчатости юга СССР. Москва. наука 1984 – 128с.
17. Dublyanskaya G. N., Dublyanskij V. N. Teoreticheskie osnovy izucheniya paragenезisa karst-podtoplenie (Theoretical foundations of the study of paragenesis of karst-flooding). Perm': Izd-vo Perm. un-ta, 1998. 204 s. (in Russ.).
18. Dmitrieva A. Yu., Samohin G. V., Amelichev G. N. Karst ipeshery Simferopolya (Predgornyy Krym) (Karst and caves in Simferopol (Foothill Crimea)) Uchenyey zapiski TNU. Geografiya. T.24(63). №4. 2012. S.48–59. (in Russ.).
19. Amelichev G. N., Dmitrieva A. Yu., Samohin G. V. Gipogennyj karst Simferopolya (Predgornyy Krym) i ego e'volуuciya (Hypogene karst Simferopol (Foothill Crimea) and its evolution) Speleologiya i karstologiya. № 8. 2012. S.50–62. (in Russ.).

20. Komarov I.S. Nakoplenie i obrabotka informatsii pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyakh (The accumulation and processing of information for engineering-geological research). M.: Nedra (Publ.), 1972. 294 s. (in Russ.).
21. Dublyanskij V.N., Shutov Yu.I., Amelichev G.N. Ocenka himicheskoy denudatsii karstovykh massivov Gornogo Kryma (Assessment of chemical denudation of the karst massifs of the Crimea). Geologicheskij zhurnal. №4. 1990. S.37–40. (in Russ.).
22. Maksimovich G.A. Osnovy karstovedeniya (Foundations of Karstology). T.1. Perm', 1963. 444 s. (in Russ.).

Поступила в редакцию 15.01.2017 г.