



УДК [911.52:551.435.8](470.32)  
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-2-155-167

## Карстовая денудация как фактор ландшафтогенеза Центрального Черноземья

Михно В.Б., Горбунов А.С.

Воронежский государственный университет,  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1  
E-mail: fizgeogr@mail.ru, gorbunov.ol@mail.ru

**Аннотация.** Карстовая денудация на протяжении неоген-четвертичного периода играет одну из ведущих ролей в формировании как палеоландшафтов, так и современных природно-территориальных комплексов Центрального Черноземья. Во многих районах она предопределяет процессы литоландшафтогенеза и существенно влияет на специфику хозяйственной деятельности. В связи с этим авторами предпринята попытка рассмотреть современную ситуацию с распространением карста в регионе, дополнить имеющиеся сведения по географии карстового процесса, выявить основные факторы, влияющие на интенсивность карстовой денудации. Работа базируется на многолетних полевых исследованиях, проведенных авторами на территории региона, в результате которых были выявлены основные ареалы распространения карстовых ландшафтов в Центральном Черноземье. Эти сведения были дополнены современным данными по распространению карста, полученными в результате дешифрирования космических снимков высокого разрешения. В результате на территории региона было выявлено более 15 тыс. карстовых и карстово-суффозионных форм рельефа, обозначены новые ареалы развития карстовой денудации для Липецкой области. Итогом работ стала впервые созданная для Центрального Черноземья карта плотности карстовых и карстово-суффозионных ландшафтов. Наряду с этим были определены основные факторы, влияющие на интенсивность протекания карстовых процессов: глубина залегания карбонатных пород, их вещественный и химический состав, трещиноватость и химическая агрессивность природных вод. В заключении акцентировано внимание на прикладном аспекте изучения карстового ландшафтогенеза.

**Ключевые слова:** карстовая денудация, карбонатные породы, литогенная основа ландшафтов, карстовый ландшафтогенез, Центральное Черноземье.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-45-360005 р\_а «Вертикальная дифференциация ландшафтов Воронежской области»).

**Для цитирования:** Михно В.Б., Горбунов А.С. 2021. Карстовая денудация как фактор литоландшафтогенеза Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 45 (2): 155–167. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-155-167

---

## Karst denudation as a factor of landscape genesis Central Chernozemic Region

Vladimir B. Mikhno, Anatolii S. Gorbunov

Voronezh State University

1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia

E-mail: fizgeogr@mail.ru, gorbunov.ol@mail.ru

**Abstract.** Karst denudation during the Neogene-Quaternary period plays one of the leading roles in the formation of paleo- and modern landscapes of the Central Chernozemic region. In many areas it predetermines the processes of lithological genesis of landscape and significantly affects the specifics of economic activity. In



this connection the authors have made an attempt to examine the present situation of karst spreading in the region, to supplement the data on the geography of karst processes and to reveal the main factors influencing the intensity of karst denudation. The work is based on many years of field studies carried out by the authors in the region, which revealed the main habitats of karst landscapes distribution in the Central Chernozemic Region. This information was supplemented with modern data on karst distribution obtained by interpretation of high-resolution satellite images. As a result, more than 15 thousand karst and karst-suffosion relief forms were identified in the region. New areas of karst denudation development were also identified for the Lipetsk Region. The map of karst and karst-suffosion landscapes density created for the Central Chernozemic region for the first time became the result of this work. In addition, the main factors influencing the intensity of karst processes were determined. Among them: the depth of occurrence of carbonate rocks, their material and chemical composition, fracturing and chemical aggressiveness of natural waters. The conclusion focuses on the applied aspect of the study of karst landscape genesis.

**Keywords:** karst denudation, carbonate rocks, lithogenic basis of landscapes, karst landscape genesis, Central Chernozemic region.

**Acknowledgements:** the research was conducted with the financial support of the RFBR (project 19-45-360005 r\_a «Vertical differentiation of landscapes of the Voronezh Region»).

**For citation:** Mihno V.B., Gorbunov A.S. 2020. Karst denudation as a factor of landscape genesis Central Chernozemic region. Regional Geosystems, 45 (2): 155–167 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-155-167

---

## Введение

В происхождении, строении и развитии многих ландшафтов ряда регионов Центрального Черноземья, имеющих карбонатную литогенную основу, большая роль принадлежит карстовой денудации – химическому растворению природными водами и выносу горных пород в виде раствора. К числу таких пород здесь принадлежат известняки, мел, мергель, доломит.

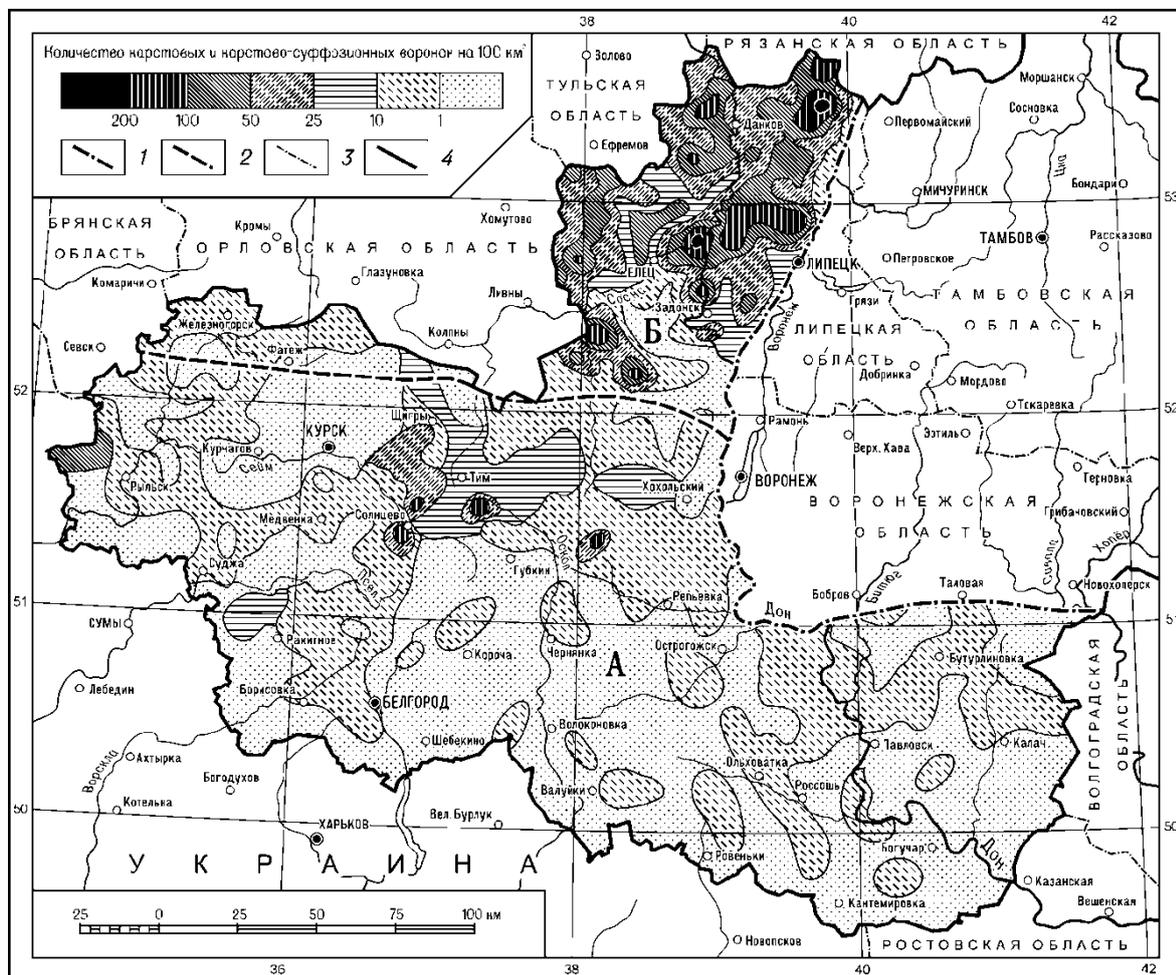
Карстовая денудация в пределах региона проявляется длительное время и тесно связана с континентальным развитием территории – периодом допалеогеновой трансгрессии, неогеновым и четвертичным временем. В эти этапы при активном участии карстовой денудации срабатывались массивы карбонатных пород, формировались своеобразные литогенные ландшафты со свойственной им карстовой морфоскульптурой, включающей воронки, провалы колодеобразной формы, западины, цирковидные и слепые балки, пещеры, карры. Эти формы рельефа совместно с выстилающими их карбонатными породами предопределили формирование особой категории литогенных ландшафтов, среди которых наибольшее распространение получили известняково-карстовые и карстово-меловые ландшафты [Михно и др., 2020].

Деструктивный характер карстовой денудации нередко приводит к разрушению или нарушению сложившейся структурно-динамической организации ландшафтов региона, что отрицательно сказывается на природной среде и экологической обстановке территорий, подверженных активному воздействию карстового процесса. Это предопределяет необходимость установления региональных особенностей развития карста и его влияния на окружающую среду.

## Объекты и методы исследования

Работа базируется на результатах многолетних полевых исследований карстовых ландшафтов Центрального Черноземья, проведенных В.Б. Михно, итогом которых стало создание крупномасштабных ландшафтных карт и описаний наиболее закарстованных территорий Липецкой, Курской и Белгородской областей, а также обобщенных карт распространения мелового карста на юге Среднерусской возвышенности. На основе данных ди-

станционного зондирования Земли высокого разрешения, полученных из сервисов Google Earth, Bing maps, World Imagery, Yandex maps, путем ручного дешифрирования изображений весенне-летнего сезона, авторы уточнили ареал распространения карстовых и карстово-суффозионных форм рельефа. На фоне сельскохозяйственных полей они выделяются специфичной округлой формой нераспаханных участков, наличием древесно-кустарниковых зарослей, скоплением воды и снега в ранневесеннее время. По склонам гидрографической сети, нераспаханным ложбинам стока, днищам балок и залесенным территориям выделение карстовых воронок и особенно западин на основе данных дистанционного зондирования во многих случаях проблематично, в связи с чем авторы пользовались исключительно результатами личных полевых исследований. Немаловажное значение приобретает отделение карстово-суффозионных от суффозионных форм рельефа, которые часто имеют единую морфологию. Для разграничения этих форм авторы использовали критерий наличия в современной коре выветривания карстующихся карбонатных пород и глубину их залегания. В результате проведенных работ на исследуемой территории было выделено более 15 тыс. карстовых и карстово-суффозионных форм рельефа, которые нашли отражение на карте плотности карста Центрального Черноземья (см. рисунок).



Плотность карстовых и карстово-суффозионных ландшафтов в Центральном Черноземье:  
 Границы: 1 – распространения карбонатных пород; 2 – карстовых округов; 3 – административных областей; 4 – Центрального Черноземья. А – меловой карстовый округ;  
 Б – известняковый карстовый округ

Density of karst and karst-suffusion landscapes in the Central Chernozem Region: Borders:  
 1 – distribution of carbonate rocks; 2 – karst districts; 3 – municipal districts; 4 – Central Chernozem Region. A – cretaceous karst district; B – limestone karst district



## Результаты и их обсуждение

**Предпосылки карстовой денудации.** Карстовая денудация – это экзогенный процесс, способный воздействовать на все основные компоненты ландшафта и тем самым формировать своеобразные литогенные природно-территориальные комплексы. По своей сути, это карстовый процесс со свойственным ему деструктивным и созидательным характером развития.

Под карстом обычно понимаются явления и процессы, происходящие в растворимых горных породах, которые образуют специфичные формы рельефа, определяют подземный сток, могут трансформировать существующую гидрографическую сеть и формировать своеобразные ландшафты. В связи с этим на территориях, сложенных водорастворимыми горными породами, карст является основным фактором литоландшафтогенеза [Гвоздецкий, 1972; Чикишев, 1979; Михно, 1990]. Из этого следует, что в данном случае особая роль в формировании ландшафтов принадлежит карстовой денудации, основными предпосылками которой являются наличие растворимых природными водами горных пород и подверженность их воздействию поверхностных или подземных вод.

По Ф.Н. Милькову [1977], подобные ландшафты образуют особый литогенный генетический ряд ландшафтных комплексов.

В Центральном Черноземье карстовая денудация получила развитие на возвышенных территориях. Предопределено это широким распространением здесь растворимых карбонатных горных пород и наличием необходимых условий для их химического растворения под воздействием воды.

Карстовая денудация здесь выступает в роли своеобразного ландшафтообразующего фактора. Наиболее ярко это проявляется в литоландшафтогенезе закарстованных территорий региона, которым свойственно геолого-геоморфологическое, гидроклиматическое, почвенно-растительное и, в целом, ландшафтное отличие от смежных незакарстованных территорий.

Основными растворимыми горными породами, входящими в современную кору выветривания, в регионе выступают верхнедевонские известняки и доломиты, а также верхнемеловые мело-мергельные отложения.

**Литогенная основа известняково-карстовой денудации.** Известняки на территории Центрального Черноземья приурочены к Среднерусской возвышенности. Карст здесь развивается в трещиноватых горных породах фаменского яруса верхнего девона, залегающих выше базиса карстовой денудации. Южная граница их распространения соответствует линии Воронеж–Курск. Максимальная мощность отложений (до 100 м) отмечается на севере Липецкой области. Зачастую встречаются известняковые обнажения. Они особенно многочисленны в долинах рек Дон, Красивая Меча, Сосна, Воргол, Пальна и ряде других. Также выступы известняков имеют место по балкам и оврагам.

Породообразующим минералом известняков является кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), подчиненное значение имеют примеси глинистых минералов и доломитов. Чистые горные породы по химическому составу близки эталонному кальциту, в котором 50 % приходится на  $\text{CaO}$  и 44 % на  $\text{CO}_2$ . Для них характерна значительная трещиноватость и сложность.

Известняки, переслаивающиеся другими слоями, входят в состав франского (семи-лукский, воронежский, евлановский и ливенский горизонты) и фаменского (задонский и елецкий горизонты) ярусов. Относящиеся к разным горизонтам породы, отличаются по литологии, структурным и текстурным особенностям. Наиболее неоднородны отложения фаменского яруса, включающего мергелистые известняки. При этом установлено, что скорость карстовой денудации тесным образом связана с химическим составом известняков, а именно содержанием в нем кальцита. Доказательством тому выступает более высокая степень закарстованности территорий, сложенных химически чистыми и литологиче-

ски однородными толщами известняков франского яруса в отличие от менее закарстованных известняков фаменского яруса [Известняковый..., 1978].

Отложения франского яруса наибольшее развитие получили на правобережье среднего Дона и на территории бассейнов его правых притоков – Девыцы и Ведуги. Они известны как семилукские слои, обнажения которых представлены глинами и алевролитами, переслаивающимися с мергелями и известняками. Различают петинские, воронежские, евлановские и ливенские слои. В северном направлении мощность карбонатных пород увеличивается до 20–25 м, возрастает однородность их структуры и текстуры. В целом, для девонских карбонатных отложений характерны присутствие разнообразной и специфической фауны, неоднородность литологического состава, изменчивость плотности и структуры. Все это налагает существенный отпечаток на карстообразование в районах распространения карбонатных пород франского яруса.

Наиболее значительная толща известняков свойственна фаменскому ярусу, в строении которого различают задонские, елецкие и данково-лебедянские слои, состоящие преимущественно из неоднородных по литологическому составу, структуре и текстуре известняков. В частности, задонские слои, обнажающиеся в долине Дона севернее г. Задонска, включают переслаивающиеся преимущественно мергелистые известняки и известняк ракушечник. Елецкие слои в долине Дона и его притоков от Задонска до Лебедяни сложены толстослоистыми, плотными кавернозными известняками. В естественных обнажениях мощность их достигает 40–50 м (в районе г. Ельца). По данным Липецкой комплексной геологоразведочной экспедиции, содержание  $\text{CaCO}_3$  здесь превышает 90 % (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Химический состав основных компонентов елецкого горизонта верхнедевонских отложений Придонского известняково-карстового района Среднерусской возвышенности  
Chemical composition of the main components of the Yeltsky horizon of the Upper Devonian deposits of the Don Lime-Karst region of the Central Russian Upland

Месторождения известняков	Содержание основных компонентов (%)		
	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	Нерастворимый остаток
Рождественское	91,29	5,10	2,31
Хмельницкое	92,26	2,80	1,76
Аргамачское	93,78	1,72	2,14

Данково-лебедянские слои представлены в разной степени доломитизированными известняками с прослойками мергелей. Доломиты ( $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$  – двойная углекислая соль кальция и магния) здесь часто переслаиваются глинами и мергелями. Доломитизированные известняки распространены на севере рассматриваемого региона. В районе г. Данкова мощность их достигает 40 м. Доломитовым известнякам свойственна значительная кавернозность. Растворяются они быстрее, чем чистые известняки, образуя крупные карстовые формы. В пределах Данковского месторождения металлургических доломитов закарстованность достигает 10 %.

В целом, все получившие в регионе распространение литологические разновидности карбонатных верхнедевонских отложений создают базовую основу для устойчивого развития карстовой денудации и формирования особой категории литогенных известняково-карстовых ландшафтов. Свидетельством тому могут служить как древние, так и совре-



менные проявления карста, свойственные известняковому северу Центрального Черноземья [Михно, 2005].

**Литогенная основа карстово-меловой денудации.** На возвышенном юге Центрального Черноземья широкое распространение получили меловые отложения. Северная граница их распространения проходит по линии Дмитриев-Льговский – Стаканово – Новосильское – Семилуки – Лиски – Таловая – устье реки Савалы. Мощность толщи достигает максимальных значений в 250 м на юге Белгородской области. По долинам рек, балкам и оврагам мело-мергельные породы зачастую выходят на поверхность. Также они были вскрыты в карьерах, некоторых дорожных выемках и карстовых провалах.

Особенно велика ландшафтообразующая роль мелового субстрата и свойственной ему карстовой денудации на высоком правом берегу среднего Дона, известного как Донское Белогорье, которое территориально почти совпадает с границами Придонского мелового, Калитвинского волнисто-балочного и Богучарского степного физико-географических районов [Мильков, 1976].

Основной природной особенностью Донского Белогорья является ярко выраженный литоландшафтогенез мело-мергельных пород. Воздействие мелового субстрата и карстово-меловой денудации здесь сказывается на физико-географических процессах, природных компонентах и ландшафтных комплексах. Неслучайно физико-географические районы, составляющие Донское Белогорье, в генетическом отношении отнесены Ф.Н. Мильковым к литогенному (петрогенному) ряду ландшафтных комплексов [Мильков, 1976].

Химический и литологический состав отложений верхнемелового возраста сильно отличается, что в свою очередь предопределяет специфику и интенсивность карстовой денудации. В наиболее химически чистых отложениях мела содержание  $\text{CaCO}_3$  достигает 99 %. Карбонатная часть его образована кальцитом, основную породообразующую роль в котором играют планктонные водоросли кокколитофориды (табл. 2).

В состав мело-мергельных пород также входят глинистые примеси. Содержание их снижает скорость выщелачивания карбоната кальция из меловых пород, что, естественно, приводит к снижению интенсивности карстовой денудации и ослаблению её роли как фактора литоландшафтогенеза.

**Интенсивность карстовой денудации карбонатных пород Центрального Черноземья.** Литоландшафтогенез территорий, подстилаемых карбонатными породами, носит дифференцированный характер и в значительной степени зависит от интенсивности карстовой денудации – совокупности процессов выщелачивания, сноса и выноса продуктов растворения водой и ветром. На темпы и характер денудации большое влияние оказывают тектонические, литологические и климатические факторы.

Карстовая денудация карбонатных пород Центрального Черноземья ещё слабо изучена. Проведённые на отдельных участках полевые исследования, а также анализ имеющихся фондовых материалов и соответствующих литературных данных позволяет сделать вывод о том, что в рассматриваемом регионе карстовая денудация проявляется с различной интенсивностью в тесной зависимости, прежде всего, от литологических особенностей карбонатных пород [Михно, 1993].

**Интенсивность известняково-карстовой денудации.** Карстовая денудация верхнедевонских известняков Центрального Черноземья зависит не только от химического состава и физических свойств известняков, но и от их литологии, стратиграфии, тектоники, перекрытости, условий залегания, а также подверженности естественным и антропогенным факторам.

Химический процесс растворения известняка выступает важнейшим индикатором карстовой денудации. Скорость растворения в данном случае является показателем интен-

сивности карстовой денудации, определение которой требуется для решения многих задач и прежде всего, прогнозирования развития карста.

Для установления скорости карстовой денудации разработан целый ряд методов [Corbel, 1957; Чикишев, 1973; Gabrovsek, 2007; White, 2007; Ford, Williams, 2007].

Таблица 2  
Table 2

Вещественный состав карбонатной части туронско-коньякской толщи  
правобережья Дона [Носов, 1957]  
Material composition of the carbonate part of the Turonian-Coniacal deposits of the right bank  
of the Don [Nosov, 1957]

№ монолита	Район расположения и разрезы	Карбонатная часть (%)						
		Всего карбонатов в монолите (%)	Форменные компоненты (%)					вторичный кальцит
			кокколитофориды	фораминиферы и сферы	призмы иноцерамов	прочие организмы	порошковатый кальцит	
Туронский мел								
1	с. Сторожевое	89,32	38,0	1,0	2,0	1,5	54,0	2,0
3	с. Колодежное	98,71	31,0	7,0	3,0	1,0	56,0	1,0
5	с. Верхний Мамон	97,73	42,0	3,0	4,0	1,0	48,0	–
7	ст. Казанская	97,87	28,0	5,0	5,0	–	59,0	1,0
9	х. Акимовский	97,57	51,0	9,5	1,0	1,0	33,0	1,0
Среднее по району		97,84	38,0	5,0	3,0	1,0	50,0	1,0
Коньякский мел								
2	с. Сторожевое	97,93	24,0	21,0	10,0	1,0	39,0	3,0
4	с. Колодежное	98,19	37,0	18,0	6,0	2,0	33,0	2,0
6	с. Верхний Мамон	96,28	30,0	22,0	7,0	2,0	34,0	1,5
8	ст. Казанская	93,71	36,0	19,0	10,0	3,0	22,0	4,0
10	х. Акимовский	90,16	34,0	20,0	7,0	2,0	23,0	4,0
Среднее по району		95,25	32,0	20,0	8,0	2,0	30,0	3,0

Количественная оценка интенсивности карстовой денудации известняковых отложений Центрального Черноземья проведена А.Г. Чикишевым [1979] лишь на отдельных закарстованных территориях в пределах бассейнов рек Красивая Меча, Сосна, Труды, расположенных в среднерусской лесостепи. Подсчеты им были выполнены по карстово-гидрохимическому и карстово-гидрометрическому методам, основанным на учете суммарного стока и содержания в воде породы, выносимой из карстующегося массива (табл. 3).

Приведённые в табл. 3 данные свидетельствуют о том, что скорость карстовой денудации на участках наблюдений изменяется от 9,8 до 14,6 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> в год при средней её величине 12,9 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> в год.



Таблица 3  
Table 3

Интенсивность карстовой денудации Северо-Среднерусской карстовой провинции [Чикишев, 1979]  
Intensity of karst denudation in the North-Central Russian karst province [Chikishev, 1979]

Река	Пункт	Средняя много-летняя жесткость воды, мг·экв	Средний много-летний расход, м <sup>3</sup> /сек	Интенсивность карстовой денудации, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup> в год
Красивая Меча	г. Ефремов	4,31	15,65	14,4
Сосна	ст. Беломестная	4,32	28,90	9,8
Труды	д. Стрелка	5,17	5,16	14,6

В денудации известняковой литогенной основы большую роль, наряду с химическим растворением, играет механический размыв (эрозия). В природных условиях коррозия и эрозия обычно действуют одновременно и взаимосвязанно, при этом растворение действует, прежде всего, на спайки зёрен породы, освобождая их от сцепления и облегчая смыв водным потоком. Благодаря этому достаточно прочные известняки сравнительно интенсивно разрушаются [Чикишев, 1979].

Наиболее активная карстовая денудация наблюдается в обнажающихся известняках или залегающих близко от поверхности, что характерно для долин Дона, Воргола, Пальны, Красивой Мечи и некоторых других рек. Распространение здесь многочисленных известняковых обнажений тесно связано с геолого-тектоническим развитием данной территории и врезанием русел рек в глубинные слои горных пород её литогенной основы.

Особая роль в развитии карстовой денудации принадлежит тектонике. Под воздействием тектоники толща известняков во многих местах региона подвержена трещиноватости, сформировавшейся в местах как тектонических поднятий, так и тектонических прогибов. Наличие крупной трещиноватости верхнедевонских известняков создало благоприятные условия для развития денудации, обусловило специфику строения и ориентацию речных долин, балок и оврагов. Территории региона, подстилаемой известняками, свойственны теснины, узкие каньонообразные ущелья с отвесными известняковыми стенками, попеременная асимметрия речных долин, высокая степень извилистости рек. В создании этих форм рельефа наряду с тектоникой большую роль сыграли эрозионные и карстовые процессы. Следы проявления карстовой денудации зафиксированы здесь в морфоскульптуре известняковых массивов в виде разнообразных карстовых форм рельефа, а также микроформ рельефа поверхностного выщелачивания, среди которых широко распространены ячеистые и лунковые карры.

**Интенсивность карстово-меловой денудации** является ключевым фактором литоландшафтогенеза. В свою очередь, она напрямую связана с насыщенностью воды диоксидом углерода. Чем выше его содержание, тем большей химической агрессивностьюобладают природные воды. Наибольшая интенсивность растворения меловых пород наблюдается в лишенных глинистых примесей отложениях. На поверхности монолитной толщи меловых пород следами их химического растворения выступают карры.

Интенсивность карстовых процессов во многом зависит от литологии меловых отложений, и прежде всего таких их свойств, как цементированность, трещиноватость, способность разрушаться при низких температурах и эмульгировать под воздействием воды [Михно, 1993].

По экспериментальным данным Ф.Ф. Лаптева, А.И. Иванова, В.А. Приклонского, Г.А. Максимовича вода с емкостью карбонатов 1 мг/л растворяет от 350 до 750 мг CaCO<sub>3</sub> с

1 м<sup>2</sup> в сутки, при этом суммарная мощность денудации колеблется от 0,4 до 1 мм в год. Скорость растворения мела по сравнению с другими карбонатными породами значительно выше [Окнина, 1965].

В пределах Центрального Черноземья скорость карстовой денудации для многих районов не установлена, что связано, во-первых, с отсутствием фактических данных, а во-вторых, с недостаточной разработанностью полевых методов определения скорости денудации меловых пород.

Имеющиеся опыты обычно строятся на изучении объемов подземного стока и определения количества растворенного в воде карбоната кальция. В этой связи применение подобного подхода нередко затруднено в результате часто наблюдающейся литологической неоднородности в пределах закарстованных массивов, несовпадения топографических и подземных бассейнов вод, разнообразия и непостоянства ландшафтных и антропогенных факторов, воздействующих на развитие карстовой денудации.

В этой связи важным условием объективности исследования является необходимость разграничения подземной и поверхностной карстовой денудации. Для определения скоростей подземной денудации необходимо осуществлять постоянный мониторинг химического состава и расходов воды рек в зимний период или всепогодные наблюдения за карстовыми источниками. В настоящее время таких данных явно не хватает.

Тем не менее, работы подобной направленности проводились. Так, В.Б. Михно была установлена скорость подземной денудации мело-мергельных отложений для юга Среднерусской возвышенности [Михно, 1993]. Ее расчет был основан на формуле, разработанной J. Corbel [1957] и дополненной А.Г. Чикишевым [1973]. Она имеет следующий вид:

$$C = 0,0126 \times M \times T,$$

где  $C$  – скорость карстовой денудации, м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> в год, или мм/тысячелетие; 0,0126 – коэффициент, полученный при преобразовании формулы J. Corbel, предложенной для определения скорости карстовой денудации карбонатных пород;  $M$  – модуль стока, л/с на км<sup>2</sup>;  $T$  – содержание CaCO<sub>3</sub> в воде, мг/л (табл. 4).

Проведенные исследования показали, что интенсивность подземной карстовой денудации мела составляет 1,2–4,3 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> в год. Очевидно, что в районах современного развития карста он может протекать еще интенсивнее.

**Ландшафтообразующая роль карстовой денудации** носит сложный характер и выступает ведущим звеном в цепи литоландшафтогенеза карбонатных пород Центрального Черноземья. Карст трансформирует литогенную основу ландшафтов, в строении которых принимают участие карбонатные горные породы, оказывает влияние на протекание геоморфологических процессов, формирует оригинальный рельеф, свойственный только территориям с карбонатной литогенной основой (карровые поля, слепые балки, карстовые воронки и др.). Немаловажную роль также играет плоскостная карстовая денудация, интенсивно срабатывающая обнаженные карбонатные горные породы.

Так, установлено [Михно, 1993], что на юге Среднерусской возвышенности скорость денудации поверхности мела достигает 0,15 мм в год. Это позволяет предположить, что за весь неоген-четвертичный период континентального развития рассматриваемой территории обнажающиеся массивы мело-мергельных пород могли быть срезаны более чем на 50 м.

Карстовой денудацией охвачена обширная территория Центрального Черноземья, причем проявляется она здесь длительное время. Свидетельство тому – наличие древних погребенных карстовых форм рельефа в известняках и мело-мергельных породах.



Таблица 4  
 Table 4

Скорость подземной карстовой денудации в мело-мергельных породах  
 Среднерусской возвышенности [Михно, 1990]  
 The rate of underground karst denudation in the chalk-marl deposits  
 of the Central Russian Upland [Mikhno, 1990]

Местоположение карстового источника	Содержание в воде карбоната кальция, в мг/л	Модуль стока, в л/сек на км <sup>2</sup>	Скорость карстовой денудации, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup> в год
с. Нижний Кисляй (Воронежская обл.)	282,5	0,50	1,8
с. Среднее (Воронежская обл.)	248,0	1,35	4,2
г. Алексеевка (Белгородская обл.)	360,8	0,88	4,0
с. Гремячье (Воронежская обл.): ист. № 1	202,4	1,20	3,1
с. Гремячье (Воронежская обл.): ист. № 2	284,1	1,20	4,3
с. Ильинка (Белгородская обл.)	253,3	0,90	2,9
с. Малое Быково (Белгородская обл.)	319,6	0,92	3,7
с. Колодежное (Воронежская обл.)	193,2	0,51	1,2
с. Белогорье (Воронежская обл.)	220,5	0,47	1,3
с. Знаменка (Белгородская обл.)	210,4	1,26	3,3

Погребенные карстовые формы вскрыты речными долинами, эрозионной сетью, карьерами и геоморфологическими скважинами. Наибольшее их количество было обнаружено на Доно-Оскольском междуречье, где буровые и геофизические исследования позволили выявить около 1000 погребенных карстовых форм [Красненков, 1970].

А.А. Дубянский [1937], А.С. Барков [1938], Н.Х. Платонов [1962], Р.В. Красненков [1970] и другие ученые считают, что карст в Центральном Черноземье впервые проявился в позднем меловом периоде – раннем палеогене, а наибольшей активности достиг в плиоцене. Это подтверждается обнаружением погребенных карстовых воронок, заполненных разновозрастными неогеновыми отложениями. В частности, на территории карьера Лебединского ГОКа (Губкинский район Белгородской области) было выявлено 16 крупных карстовых провалов глубиной до 40 м, среди которых карстовая котловина шириной в поперечнике более 500 м. Р.В. Красненковым [1970] на территории юга Среднерусской возвышенности зафиксировано более 1000 погребенных карстовых форм, в числе которых крупнейшая в регионе карстовая котловина, обнаруженная на востоке Калачской возвышенности, протяженностью около 3 км.

Изменение морфологии рельефа под воздействием карстовой денудации, безусловно, отразилось и на многих других компонентах ландшафтов, имеющих карбонатную литогенную основу. В конечном итоге это привело к формированию качественно иных ландшафтов, обязанных своим происхождением химическому растворению и выносу водой карбонатных пород в виде раствора.

Для карстовых ландшафтов характерно не только разнообразие форм рельефа (карстовых воронок, котловин, пещер, цирковидных балок), но и своеобразие почвенно-растительного покрова (остаточно-карбонатные чернозёмы, сообщества кальцефитной растительной флоры), микроклиматических и гидрологических условий, а также фауны.

Вместе с тем, карстовые ландшафты, как правило, обладают повышенной динамичностью и способны оказывать порой сильное воздействие на смежные ландшафты и экологическую обстановку закарстованных территорий.

### Заключение

Таким образом, карстовая денудация карбонатных пород в ряде районов Центрального Черноземья играет ведущую роль в формировании своеобразных геосистем, представленных известняково-карстовыми и карстово-меловыми ландшафтами. Интенсивность карстовой денудации носит дифференцированный характер и зависит как от естественных, так и антропогенных факторов химического растворения и выноса продуктов растворения водой и ветром. Ландшафтообразующая роль карстовой денудации, в зависимости от степени покрытости карбонатных пород нерастворимыми отложениями, проявляется неодинаково, что, в свою очередь, предопределяет образование различных морфолого-генетических типов карстовых ландшафтов: обнаженных, завуалированных, покрытых, а также подземных. В результате полевых исследований и дешифрирования космических снимков были установлены районы наиболее интенсивного проявления карста, в их числе: низовье реки Сосны, междуречье рек Рясы и Ягодной Рясы, правобережье реки Дон севернее Данкова, левобережье реки Олым в районе с. Покровское, междуречье рек Убли и Котла, Ржавца и Донецкой Сеймицы, верховье реки Тим и ряд других участков. Полученные данные необходимы при решении задач природопользования и оптимизации ландшафтно-экологической обстановки закарстованных территорий Центрального Черноземья.

### Список литературы

1. Барков А.С. 1938. О микроформах карста. Ученые записки географического факультета Московского государственного педагогического института: 3–14.
2. Гвоздецкий Н.А. 1972. Проблемы изучения карста и практика. М., Мысль, 392 с.
3. Дубянский А.А. 1937. Ископаемый карст среди верхнемеловых отложений. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Геологии, 15 (4-С): 297–325.
4. Известняковый Север Среднерусской возвышенности. 1978. Под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета, 176 с.
5. Красненков Р.В. 1970. Погребённый меловой карст юго-восточной части Среднерусской возвышенности. Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Воронеж, 20 с.
6. Мильков Ф.Н. 1976. Ландшафтные особенности Донского Белогорья. В кн.: Донское Белогорье. Под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета: 5–26.
7. Мильков Ф.Н. 1977. Генезис и генетические ряды ландшафтных комплексов. Землеведение, 12: 5–11.
8. Михно В.Б. 1990. Карстово-меловые геосистемы Русской равнины. Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета, 200 с.
9. Михно В.Б. 1993. Меловые ландшафты Восточно-Европейской равнины. Воронеж, Петровский сквер, 232 с.
10. Михно В.Б. 2005. Районирование карста Центрального Черноземья. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 16–33.
11. Михно, В.Б., Быковская, О.П., Горбунов, А.С. 2020. Региональные особенности литоландшафтогенеза Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 44 (1): 29–40. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-29-40.
12. Носов Г.И. 1957. Литология и инженерно-геологическая характеристика мела долины Дона. В кн.: Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. Отв. ред. В.А. Приклонский. М., 165–175.



13. Окнина Н.А. 1965. Процессы выщелачивания и диффузного перемещения солей в мелах и мелоподобных породах. Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского, 44: 89–99.
14. Платонов Н.Х. 1962. Меловой карст восточной части Воронежской антеклизы. В кн.: Общие вопросы картоведения. Отв. ред.: Н.А. Гвоздецкий, Н.И. Соколов. М., Изд-во Академии наук СССР: 222–233.
15. Чикишев А.Г. 1973. Методы изучения карста. М., Изд-во Московского университета, 92 с.
16. Чикишев А.Г. 1979. Проблемы изучения карста Русской равнины. М., Изд-во Московского университета, 304 с.
17. Corbel J. 1957. Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison. In: Étude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires. Lyon, Institut des Études rhodaniennes de l'université de Lyon Publ., 531 p.
18. Ford D., Williams P. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 562 p.
19. Gabrovsek F. 2007. On denudation rates in karst. Acta Carsologica. 36 (1): 7–13. DOI: 10.3986/ac.v36i1.203.
20. White W.B. 2007. Evolution and age relations of karst landscapes. Acta Carsologica. 36 (1): 45–52. DOI: 10.3986/ac.v36i1.207.

### References

1. Barkov A.S. 1938. O mikroformakh karsta [About karst microforms]. Uchenye zapiski geograficheskogo fakul'teta Moskovskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta: 3–14.
2. Gvozdetskiy N.A. 1972. Problemy izucheniya karsta i praktika [Problems of karst research and practice]. Moscow, Publ. Mysl', 392 p.
3. DUBYANSKIY A.A. 1937. Iskopaemyy karst sredi verkhnemelovykh otlozheniy [Fossil karst among Upper Cretaceous deposits]. Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel Geologii, 15 (4-C): 297–325.
4. Izvestnyakovyy Sever Srednerusskoy vozvyshennosti [Limestone north of the Central Russian Upland]. 1978. Ed.: F.N. Mil'kov. Voronezh, Publ. Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 176 p.
5. Krasnenkov R.V. 1970. Pogrebennyy melovoy karst yugo-vostochnoy chasti Srednerusskoy vozvyshennosti [Buried Cretaceous karst of the southeastern part of the Central Russian Upland]. Abstract dis. ... cand. geol.-mineral. sciences. Voronezh, 20 p.
6. Mil'kov F.N. 1976. Landshaftnye osobennosti Donskogo Belogor'ya [Landscape features of the Don Belogorye]. In: Donskoe Belogor'e [Don Belogorye]. Ed.: F.N. Mil'kov. Voronezh, Publ. Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta: 5–26.
7. Mil'kov F.N. 1977. Genezis i geneticheskie ryady landshaftnykh kompleksov [Genesis and genetic series of landscape complexes]. Zemlevedenie, 12: 5–11.
8. Mikhno V.B. 1990. Karstovo-melovye geosistemy Russkoy ravniny [Cretaceous karst geosystems of the Russian Plain]. Voronezh, Publ. Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 200 p.
9. Mikhno V.B. 1993. Melovye landshafty Vostochno-Evropeyskoy ravniny [Cretaceous landscapes of the East European Plain]. Voronezh, Publ. Petrovskiy skver, 232 p.
10. Mikhno V.B. 2005. Rayonirovanie karsta Tsentral'nogo Chernozem'ya [Karst zoning of the Central Chernozemic Region]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Geografiya. Geoekologiya, 1: 16–33.
11. Mikhno V.B., Bykovskaya O.P., Gorbunov A.S. 2020. Regional features of lithological genesis of landscapes of the Central Chernozems region. Regional geosystems, 44 (1): 29–40. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-29-40 (in Russian).
12. Nosov G.I. 1957. Litologiya i inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika mela doliny Dona [Lithology and engineering-geological characteristics of chalk of the Don valley]. In: Trudy Soveshchaniya po inzhenerno-geologicheskim svoystvam gornyykh porod i metodam ikh izucheniya [Proceedings of the Meeting on engineering-geological properties of rocks and methods of their study]. Ed.: V.A. Priklonskiy. Moscow, 165–175.

13. Oknina N.A. 1965. Protsessy vyshchelachivaniya i diffuznogo peremeshcheniya soley v melakh i melopodobnykh porodakh [Processes of leaching and diffusive movement of salts in chalks and chalk-like rocks]. *Trudy laboratorii gidrogeologicheskikh problem im. F.P. Savarenskogo*, 44: 89–99.
14. Platonov N.Kh. 1962. Melovoy karst vostochnoy chasti Voronezhskoy anteklizy [Cretaceous karst of the eastern part of the Voronezh Antecline]. In: *Obshchie voprosy kartovedeniya* [General issues of karst science]. Ed.: N.A. Gvozdetskiy, N.I. Sokolov. Moscow, Publ. Akademii nauk SSSR: 222–233.
15. Chikishev A.G. 1973. *Metody izucheniya karsta* [Methods of karst research]. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta, 92 p.
16. Chikishev A.G. 1979. *Problemy izucheniya karsta Russkoy ravniny* [Problems of studying the karst of the Russian plain]. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta, 304 p.
17. Corbel J. 1957. Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison. In: *Étude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires*. Lyon, Institut des Études rhodaniennes de l'université de Lyon Publ., 531 p.
18. Ford D., Williams P. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 562 p.
19. Gabrovsek F. 2007. On denudation rates in karst. *Acta Carsologica*. 36 (1): 7–13. DOI: 10.3986/ac.v36i1.203.
20. White W.B. 2007. Evolution and age relations of karst landscapes. *Acta Carsologica*. 36 (1): 45–52. DOI: 10.3986/ac.v36i1.207.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Михно Владимир Борисович**, профессор, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и оптимизации ландшафта Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Горбунов Анатолий Станиславович**, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и оптимизации ландшафта Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Vladimir B. Mikhno**, professor, doctor of geographical Sciences, Professor of the Department of physical geography and landscape optimization, Voronezh state University, Voronezh, Russia

**Anatoliy S. Gorbunov**, candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of physical geography and landscape optimization of Voronezh state University, Voronezh, Russia