

УДК 549.742.111; 550.4

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-23-30

**НАХОДКА МАРКЕРОВ МЕЖЛЕДНИКОВИЙ В ПЕЩЕРЕ УСЬВИНСКАЯ-1  
(СРЕДНИЙ УРАЛ)****Ольга Ивановна Кадебская**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8414-5925>e-mail: [icecave@bk.ru](mailto:icecave@bk.ru)*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

Минералообразование вследствие замерзания воды в пещерах вызывает пересыщение незамерзшей части раствора и осаждение некоторых растворенных соединений в виде минералов. Испарение воды и дегазация раствора являются сопутствующими процессами при отложении минералов. Криогенные минералы пещер по морфологии и изотопному составу отличаются от подобных минеральных пещерных образований, не подверженных оледенению. Морфология и минералогия криогенных минералов пещер в значительной степени зависят от исходного химического состава карстовой воды, толщины замерзающего слоя воды, а также от скорости замерзания. Медленное замерзание пещерных вод около 0° С в условиях многолетнемерзлых пород приводит к образованию крупнозернистого криогенного кальцита. Эти карбонаты могут быть использованы в качестве индикаторов периодов оттаивания мерзлоты во время межледниковий. На основании морфологического и изотопного изучения образцов из пещеры Усьвинская-1 (Средний Урал), а также их <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U датирования был сделан вывод о том, что изученный кальцит является криогенным. Кальцит представлен агрегатами (размером до 5 см) расщепленных кристаллов и сферолитами от молочно-коричневого до черного цветов. Находка такого кальцита, образовавшегося в периоды межледниковий, указывает на существование на Среднем Урале нескольких периодов деградирующей многолетней мерзлоты, а именно в периоды MIS9 (295,7 тыс. лет назад), MIS7 (205,1 тыс. лет назад), GI23 (ок. 102–104 тыс. лет назад) и GI22 (89,4–90,0 тыс. лет назад).

Ключевые слова: карбонаты, пещеры, криогенез, изотопный состав, геохронология, палеоклимат.

**INTERGLACIAL MARKERS FOUND IN USVINSKAYA-1 CAVE  
(MIDDLE URALS)****Olga I. Kadetskaya**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8414-5925>e-mail: [icecave@bk.ru](mailto:icecave@bk.ru)*Perm State University, Perm*

Mineral formation due to water freezing in caves causes supersaturation of the unfrozen part of the solution and deposition of some dissolved compounds in the form of minerals. Evaporation of water and degassing of the solution are associated processes in deposition of minerals. Cryogenic minerals of caves differ in morphology and isotopic composition from similar mineral cave formations not subject to glaciation. The morphology and mineralogy of cryogenic cave minerals depend on the initial chemical composition of karst water, the thickness of the freezing layer of water, and also on the freezing rate. Slow freezing of cave waters at 0°C in permafrost conditions leads to the formation of coarse cryogenic calcite. These carbonates can be used as indicators of permafrost thawing during interglacial periods. Morphological and isotopic study of samples from Usvinskaya-1 Cave (Middle Urals), as well as their <sup>230</sup>Th / <sup>234</sup>U dating, made it possible to conclude that the calcite is cryogenic. The calcite is represented by aggregates (up to 5 cm in size) of split crystals and spherulites from milky brown to black in color. This calcite, formed during the interglacial



periods, indicates the existence of several periods of degrading permafrost in the Middle Urals, namely in the periods MIS9 (295.7 thousand years ago), MIS7 (205.1 thousand years ago), GI23 (approx. 102-104 thousand years ago) and GI22 (89.4-90.0 thousand years ago).

**Key words:** carbonates, caves, cryogenesis, isotope composition, geochronology, paleoclimate.

### Введение

Крупнокристаллический криогенный кальцит обнаруживается в пещерах, расположенных на территориях Евразии, которые в настоящее время свободны от многолетней мерзлоты. Его присутствие указывает на то, что на данной территории мерзлота была развита в прошлом. Поскольку возраст такого кальцита может быть достаточно точно определён методом U-Th датирования, он представляет собой уникальный источник информации об изменении пространственного распространения многолетней мерзлоты на протяжении последних 600–700 тыс. лет [1; 6].

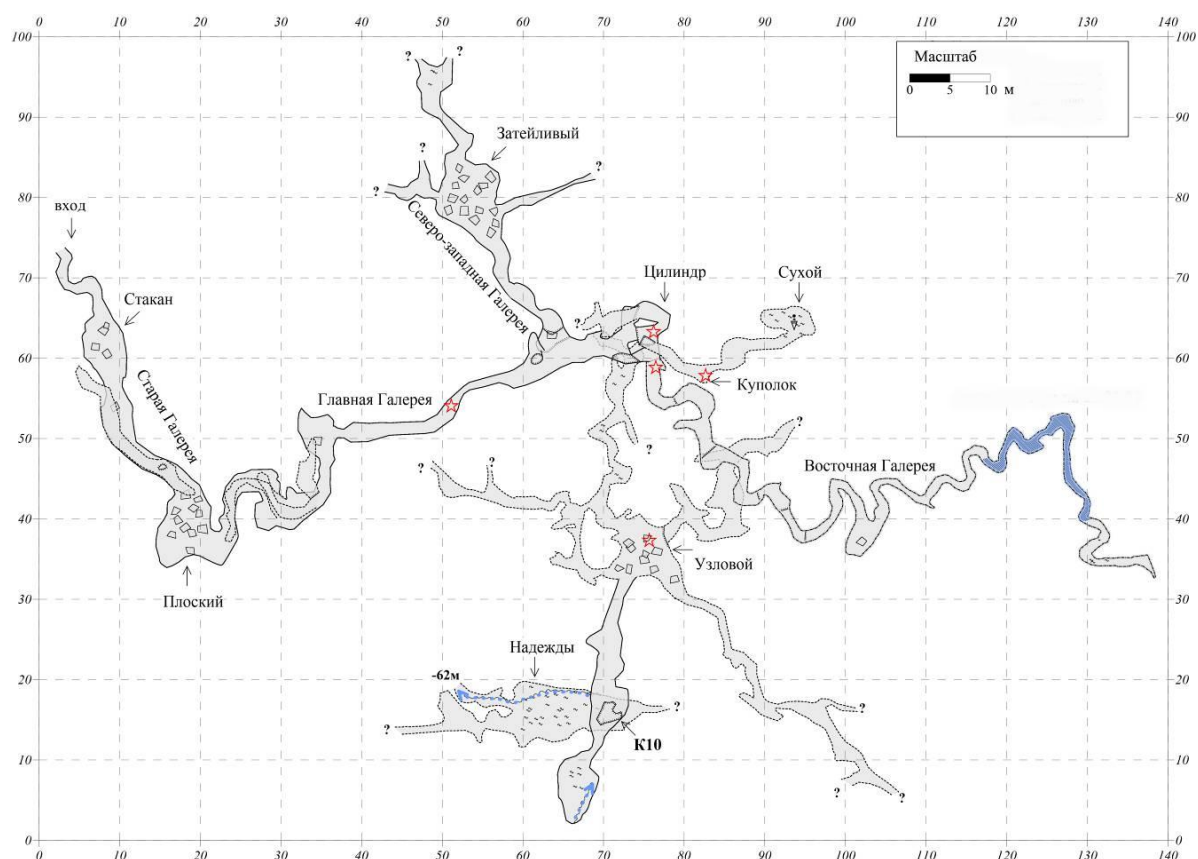


Рис. 1. План пещеры Усвинская-1, звездочками указаны места находки криогенного кальцита (съёмка выполнена Л. Башариной, И. Герасимовой, П. Рогожниковым и О. Швецовой, 2020)

Fig. 1. The plan of Usvinskaya-1 Cave, asterisks indicate the location of cryogenic calcite (survey by L. Basharina, I. Gerasimova, P. Rogozhnikov, and O. Shvetsova, 2020)

**Описание пещеры.** Пещера расположена в 2 км северо-восточнее железнодорожной станции Усьва, на водоразделе, в толще светло-серых органогенных известняков московского яруса каменноугольной системы.

Вход расположен в борту известнякового уступа высотой 4 м. Абсолютная отметка входа составляет 245 м.

Пещера представляет собой узкие меандровые галереи высотой до 10 м, которые ведут в крупные гроты: Узловой, Затейливый и Надежды, расположенные ниже. Ближняя часть пещеры была известна с 1960-х гг. (до грота Плоский).

В 2001 г. был прокопан проход в новую часть пещеры. Проходка новой части была выполнена в 2000 г. В.А. Смирновым и Н.П. Разумовой. Съёмка пещеры и мест находки криогенных кристаллов была выполнена в январе 2020 г. Л. Башариной, И. Герасимовой, П. Рогожниковым и О. Швецовой (рис. 1). Суммарная длина пещеры на сегодняшний день составляет 790 м, амплитуда – 62 м.

Из грота Плоский по прокопанному проходу можно попасть в меандровую Главную галерею, которая имеет северо-восточное направление. В гроте Цилиндр Главная галерея пересекается с Северо-Западной, которая выходит в грот Затейливый, Из грота Цилиндр при движении в северо-восточном направлении можно попасть в гроты Куполок, Сухой и Восточную галерею, а ход из грота Цилиндр в южном направлении приводит в гроты Узловой и Надежды.

В гроты Узловой и Надежды, которые находятся в нижней части пещеры, можно попасть через девятиметровый вертикальный лаз из меандрового хода. В отличие от меандровой галереи, где глинистые отложения отсутствуют, в гроте Узловой и Надежды они достигают мощности 1,5 м и занимают центральную часть зала между глыбами известняка. У восточной стены грота Узловой расположено русло ручья, в котором во время таяния снега течет вода, поэтому здесь поверхность глинистых отложений размыта, а в русле присутствует много окатанных обломков пород. Криогенные кристаллы расположены на поверхности глыб известняка и в глинистых отложениях в гротах Узловой и Надежды.

Температура воздуха в старой галерее в зимний период опускается ниже нуля, а в Главной галерее после грота Плоский близка к температуре пород и в течение всего года является положительной, составляя 3–4°C. Описанный в данной работе криогенный кальцит находится в удалённой от входа части пещеры, в зоне постоянных температур, где локальное сезонное накопление холода и связанное с ним современное криоминералообразование невозможны.

### **Материал и методы исследования**

В лабораторных условиях были проведены структурно-морфологические и изотопно-химические исследования. Для изучения морфологии кристаллов и минерального состава пород использовался поляризационный микроскоп, сопряженный с компьютером фирмы «Карл Цейс». Изотопные анализы выполнялись в Innsbruck Quaternary Group при Инсбрукском университете (руководитель – академик Австрийской академии наук, профессор К. Шпётль).

Анализ углерода и кислорода образцов кальцита проводились на масс-спектрометре Delta PLUS XL (Fisher Scientific), оснащённом автоматической линией для анализа карбонатов на основе интерфейса GASBENCH (Fisher Scientific) по методике, изложенной в Spötl & Vennemann [5]. Изотопный анализ кислорода и водорода ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ) в пробах воды проводился на анализаторе L-2130-i (Picarro, США). Результаты обрабатывались статистически и нормализовались относительно стандарта V-SMOW. Аналитическая погрешность измерений составила  $\pm 0,1\%$  для  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\pm 0,4\%$  для  $\delta^2\text{H}$ .

$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  датировки были выполнены методом масс-спектрометрии с термической ионизацией на масс-спектрометре MAT 262 RPQ TIMS в университете г. Шьян (Китай, руководитель Х. Ченг). Все коэффициенты активности были вычислены при помощи постоянных радиоактивного распада по Cheng et al. [3] и скорректированы по детритовому Th. Абсолютные даты указаны в тыс. лет назад (от 1950 г.).

При обследовании пещер криогенный кальцит, как правило, выявляется по характеру нахождения, а также по характерной и разнообразной морфологии, весьма отличающейся от морфологии «обычных» спелеотем. Он встречается в виде «пятен»–скоплений на полу

пещер или других поверхностях, например, на стеновых полках или глыбах. Площадь таких скоплений, как правило, не превышает нескольких квадратных метров. Зоны отложения криогенного кальцита зачастую отличаются от окружающих отложений более светлой окраской.

Размеры индивидуальных зёрен и агрегатов крупнокристаллического криогенного кальцита могут иметь размеры от миллиметра и меньше до нескольких сантиметров. Как правило, зёрна и агрегаты не сцементированы между собой. Морфология выделений весьма разнообразна. Часто отмечается расщеплённый рост кристаллов. Как правило, можно встретить полный «спектр» степени расщепления – от слегка расщеплённых кристаллов до сноповидных кристаллов и сферолитов (рис. 2).

**Изотопный состав кислорода и углерода.** Первые работы, посвященные криогенному пещерному кальциту, как индикатору палеоклиматических (палеокриологических) условий, были выполнены в Центральной Европе. Криогенные карбонаты были обнаружены и изучены примерно в 20 пещерах Германии, Чехии, Словакии, Австрии и Польши [4, 6, 7].

Криогенное происхождение кальцита заверяется изотопным анализом кислорода и углерода. При медленном замерзании ограниченного объема раствора в образующийся лед преимущественно входят молекулы воды с «тяжёлым» изотопом  $^{18}\text{O}$ . Соответственно в остаточном растворе повышается содержание «лёгкого» изотопа  $^{16}\text{O}$ . Кальцит, кристаллизующийся из такого раствора, наследует облегчённый изотопный состав кислорода. Кроме того, в связи с режимом ограниченной дегазации  $\text{CO}_2$ , складывающимся в медленно замерзающих бассейнах, углерод, входящий в кристаллизующийся кальцит, прогрессивно обогащается тяжёлым изотопом  $^{13}\text{C}$ . Реализуясь одновременно, эти два геохимических механизма приводят к появлению характерных изотопных трендов: криогенный кальцит имеет значения  $\delta^{18}\text{O}$ , значительно облегчённые по сравнению с таковыми сталактитов или натёков из данной пещеры; при этом в процессе роста  $\delta^{18}\text{O}$  становится всё более «лёгким», а  $\delta^{13}\text{C}$  – более «тяжёлым». Выявление таких изотопных характеристик – надёжный индикатор криогенного происхождения кальцита.

Изотопный состав С и О кальцита дал значения  $\delta^{18}\text{O}$  от -17,15 до -21,16‰ VPDB и  $\delta^{13}\text{C}$  от -2,7 до -5,7‰ VPDB (аналитическая погрешность на уровне  $1\sigma$  составляет 0,1‰ для обоих изотопов), что существенно отличается от изотопного состава натечных образований и подтверждает его криогенное происхождение (табл. 1, рис. 3).

В процессе подготовки образцов для проведения изотопных исследований Ю.В. Дублянским было установлено, что крупнокристаллические образцы криогенного кальцита содержат флюидные включения – воду, которая была захвачена в процессе расщепления и роста кристалла в растворе [2].

Измерения стабильных изотопов воды во флюидных включениях дали значения от -147,1‰ до -114,8‰ для  $\delta^2\text{H}$  и от -23,9‰ и -16,8‰ для  $\delta^{18}\text{O}$  (табл. 2; данные представлены относительно стандарта VSMOW). Капель, отобранная в гроте Узловой в зимний период 2015 г., имеет значения -107,59‰ для  $\delta^2\text{H}$  и -14,96‰ для  $\delta^{18}\text{O}$ .

Данные о содержании стабильных изотопов водорода и кислорода в атмосферных осадках в районе исследования, полученные за полуторагодовой период, представлены на рис.4. Уравнение регрессии для атмосферных осадков (локальная линия метеорных вод; ЛЛМВ) имеет вид  $\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+10$ . Изотопный состав капли в пещере соответствует изотопному составу атмосферных осадков, что говорит об их взаимосвязи (рис. 4).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Кадебская О.И.



Рис. 2. Образцы криогенного кальцита из п. Усьвинская-1, отобранные для датирования  
Fig. 2. Samples of cryogenic calcite from Usvinskaya-1 Cave selected for dating

Таблица 1

Изотопный состав кальцита С и О  
Isotopic composition of calcite C and O

№	Проба	$\delta^{18}\text{O}\text{‰ VPDB}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰ VPDB}$
1	CU_9c	-21,16	-4,0
2	USV 01	-21,13	-3,8
3	CU_9b	-22,31	-2,7
4	USV 02	-22,04	-2,9
5	USV 03	-21,78	-4,1
6	CU_9a	-17,15	-5,7

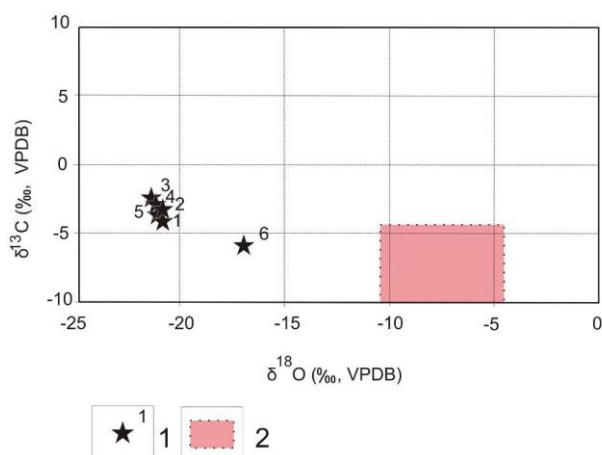


Рис. 3. Изотопный состав: 1 – криогенного кальцита; 2 – натечных образований из п. Усьвинская-1  
Fig. 3. Isotopic composition of cryogenic calcite (1) and sinter formations (2) from Usvinskaya-1 Cave

Изотопный состав воды во флюидных включениях смещен относительно значения глобальной линии метеорных вод района. Только точка 1 находится в пределах коридора  $\pm 1\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ , ограничивающего вариации состава от глобальной метеорной линии воды (ГЛМВ:  $\delta^{2}\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ ) с учетом аналитической ошибки. Остальные пробы флюидов криогенного кальцита находятся за пределами коридора, что может являться дополнительным подтверждением криогенного генезиса кальцита.

**Th/U-датирование карбонатных образований.** По результатам U-Th датирования (табл. 3) протаивание мерзлоты было зафиксировано во время MIS9 (295,7 тыс. лет назад), MIS7 (205,1 тыс. лет назад). Мерзлота реагировала и на более кратковременные потепления интерстадиалов GI23 (ок. 102–104 тыс. лет назад) и GI22 (89,4–90,0 тыс. лет назад).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Кадебская О.И.

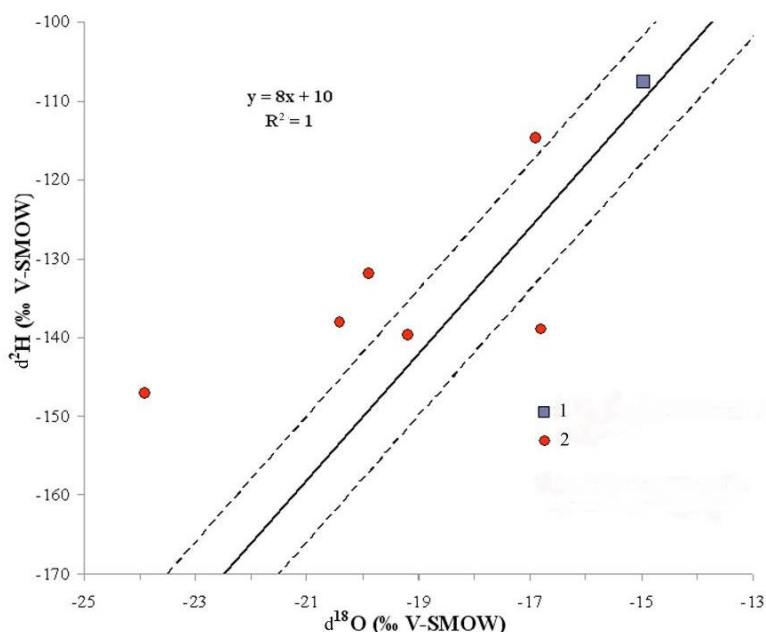


Рис. 4. Изотопный состав атмосферных осадков, капли и флюидных включений в кальците. Сплошная черная линия – локальная линия метеорных вод района исследования; штриховые линии ограничивают коридор  $\pm 1\%$   $\delta^{18}\text{O}$ , соответствующий обычной вариабельности изотопного состава современных осадков Среднего Урала:

1 – капель из грота Узловой, зима 2015 г; 2 – флюидные включения из кристаллов кальцита

Fig. 4. Isotopic composition of precipitation, droplets and fluid inclusions in calcite. The solid black line is the local line of meteoric waters of the research area; the dashed lines limit the corridor  $\pm 1\%$   $\delta^{18}\text{O}$ , which corresponds to the usual variability of the isotopic composition of modern sediments of the Middle Urals. 1 – droplets from the Uzlovoy Grotto, winter 2015; 2 – fluid inclusions from calcite crystals

Таблица 2

Изотопный состав капли и флюидных включений (воды) из кристаллов кальцита в пещере Усвинская-1  
Isotopic composition of droplets and fluid inclusions (water) from calcite crystals in Usvinskaya-1 Cave

№ n/n	Проба	$d^{18}\text{O}\text{‰ VSMOW}$	$d^2\text{H}\text{‰ VSMOW}$
1	Капель из грота Узловой, зима 2015 г.	-14,96	-107,59
2	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-19,2	-139,6
3	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-23,9	-147,1
4	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-16,8	-139,0
5	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-20,4	-138,0
6	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-16,9	-114,8
7	Флюидные включения из кристаллов кальцита	-19,9	-131,9

Таблица 3

Результаты  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  датирования карбонатных образований из пещеры Усвинская-1  
Results of  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of carbonates from Usvinskaya-1 Cave

№ n/n	Образец	$^{238}\text{U}$ ppb	$^{232}\text{Th}$ (atomic $\times 10^{-6}$ )	Возраст с коррекцией, тыс. лет	Относительная ошибка, %
1	CU_9c	1739 $\pm$ 1	80008 $\pm$ 1654	<b>295 779<math>\pm</math>1462</b>	0,49
2	USV 01	1609 $\pm$ 3	456612 $\pm$ 29454	<b>205 131<math>\pm</math>1464</b>	0,71
3	CU_9b	1931 $\pm$ 2	70791 $\pm$ 1484	<b>104 180<math>\pm</math>249</b>	0,24
4	USV 02	18661,3 $\pm$ 34,8	63959 $\pm$ 1289	<b>102 018<math>\pm</math>420</b>	0,41
5	USV 03	1645,0 $\pm$ 3,4	20161 $\pm$ 408	<b>90 056<math>\pm</math>358</b>	0,40
6	CU_9a	1887 $\pm$ 2	38433 $\pm$ 784	<b>89 416<math>\pm</math>172</b>	0,19

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Кадебская О.И.

**Заключение.** Криогенное происхождение кальцита установлено на основании морфологии кристаллов и агрегатов, а также характерного «смещения» изотопного состава (облегчение О, утяжеление С) относительно «обычных» натеков пещеры. Изотопный состав воды во флюидных включениях смещен относительно значения глобальной линии метеорных вод района, что является дополнительным подтверждением криогенного генезиса кальцита.  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -датирование кальцита позволило установить время нескольких эпизодов деградации многолетней мерзлоты в результате потепления климата на западном склоне Среднего Урала.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-55-14002 «Миграция границы многолетней мерзлоты на границе Европа-Азия в плейстоцене» и гранта FWF № I027070 «Pleistocene permafrost boundary shifts at the Europe-Asia border».

**Acknowledgements.** The research was by the RFBR grant no. 16-55-14002 "Migration of the permafrost boundary at the Europe-Asia border in the Pleistocene" and grant FWF no. I027070 «Pleistocene permafrost boundary shifts at the Europe-Asia border».

### Библиографический список

1. Кадебская О.И., Дублянский Ю.В., Шпётль К. Состояние исследований криогенного пещерного кальцита как палеоклиматического маркера на территории РФ // Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий: мат. всерос. конф. II Крымские карстологические чтения. Симферополь, 2018. С. 3–7
2. Dublyansky Y., Luetscher M., Spötl C., Töchterle P., Kadebskaya O. First results on stable isotopes in fluid inclusions in cryogenic carbonates from Ural Mountains (Russia), Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015. EGU2015-406
3. Cheng H., Edwards R.L., Hoff J., Gallup C.D., Richards D.A., Asmerom Y. The half-lives of uranium-234 and thorium-230 // Chemical Geology. 2000. V. 169. No 1–2. P. 17–33.
4. Zak K., Urban J., Cilek V., Hercman H. Cryogenic cave calcite from several Central European caves: age, carbon and oxygen isotopes and a genetic model // Chemical Geology. 2004. No 206 (1-2). P. 119–136.
5. Spötl C., Vennemann T.W. Continuous-flow isotope ratio mass spectrometric analysis of carbonate minerals. // Rapid Commun. Mass Spectrom. 2003. No 17. P. 1004–1006.
6. Žak K., Onac B.P., Kadebskaya O.I., Filippi M., Dublyansky Y., Luetscher M. Cryogenic mineral formation in caves Ice Caves. / Ice Caves. Elsevier Inc. All rights reserved. 2018. P. 123–162.
7. Zak K., Onac B.P., Persoiu A. Cryogenic carbonates in cave environments: A review. Quaternary International. 2008. No 187(1). P. 84–96.

### References

1. Kadebskaya O.I., Dublyansky Y., Spötl C. Sostoyaniye issledovaniy kriogenogo peshchernogo kaltsita kak paleoklimaticheskogo markera na territorii RF / Izucheniye i ispolzovaniye estestvennykh i iskusstvennykh podzemnykh prostranstv i zakarstovannykh territoriy: Mater. Vseross. konf. II Krymskiye karstologicheskiye chteniya. Simferopol, 2018. P. 3–72.
2. Dublyansky Y., Luetscher M., Spötl C., Töchterle P., Kadebskaya O. First results on stable isotopes in fluid inclusions in cryogenic carbonates from Ural Mountains (Russia), Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015. EGU2015-406
3. Cheng H., Edwards R.L., Hoff J., Gallup C.D., Richards D.A., Asmerom Y. The half-lives of uranium-234 and thorium-230 // Chemical Geology. 2000. V. 169. No 1–2. P. 17–33.
4. Zak K., Urban J., Cilek V., Hercman H. Cryogenic cave calcite from several Central European caves: age, carbon and oxygen isotopes and a genetic model // Chemical Geology. 2004. No 206 (1–2). P. 119–136.
5. Spötl C., Vennemann T.W. Continuous-flow isotope ratio mass spectrometric analysis of carbonate minerals. // Rapid Commun. Mass Spectrom. 2003. No 17. P. 1004–1006.
6. Žak K., Onac B.P., Kadebskaya O.I., Filippi M., Dublyansky Y., Luetscher M. Cryogenic mineral formation in caves Ice Caves. / Ice Caves. Elsevier Inc. All rights reserved. 2018. P. 123–162.
7. Zak K., Onac B.P., Persoiu A. Cryogenic carbonates in cave environments: A review. Quaternary International. 2008. No 187(1). P. 84–96.

Поступила в редакцию: 07.02.2020

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Воробьев А.Ю., Кадыров А.С.

**Сведения об авторе****Кадебская Ольга Ивановна**

доктор географических наук, доцент кафедры  
туризма, Пермский государственный  
национальный исследовательский университет;  
Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

**About the author****Olga I. Kadebskaya**

Doctor of Geographical Sciences, Associate  
Professor, Department of Tourism, Perm State  
University;  
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: icecave@bk.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Кадебская О.И.* Находка маркеров межледниковий в пещере Усвинская-1 (Средний Урал) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №3(54). С. 23–30. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-23-30.

**Please cite this article in English as:**

*Kadebskaya O.I.* Interglacial markers found in Usvinskaya-1 cave (Middle Urals) // Geographical bulletin. 2020. №3(54). P. 23–30. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-23-30.

УДК 551.435.118; 551.4.022

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-30-45

**ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГОВ РУСЛА Р. ОКИ  
В 2014–2018 ГГ. С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРОСТЫХ РЕПЕРОВ****Алексей Юрьевич Воробьев**

ORCID: 0000-0002-7110-4232, SPIN-код: 6331-7115

e-mail: a.vorobyov90@mail.ru

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань*

**Александр Сергеевич Кадыров**

SPIN-код: 3542-2691.

e-mail: alieksandr.kadyrov.93@mail.ru

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань*

В пределах средней части бассейна р. Оки, на суженных и расширенных участках ее поймы, в 2014–2018 гг. проводились исследования скорости отступления подмываемых берегов окского русла. Метод простых реперов был применен для определения скорости изменения контуров пойменной бровки на активных береговых откосах – участках относительно прямолинейного и меандрирующего русла Оки. Установлено, что в 2014–2017 гг., при малых половодьях, на уровне нижнего и среднего интервалов руслоформирующих расходов боковая эрозия определялась не столько флювиальным рельефообразованием, сколько склоновыми и антропогенными процессами. После спада половодья 2018 г., близкого по своему уровню и расходам к среднегодовым значениям, отмечалась значительная активизация отступления берегов при непосредственном воздействии на них потока, фиксировалось также формирование фестонов. Ежегодные данные и интегральные результаты исследований за пятилетний период свидетельствуют о преобладании продольных горизонтальных русловых деформаций и замедлении скорости поперечных деформаций, особенно в маловодные годы. Установлена существенная роль антропогенной и склоновой составляющей в боковой эрозии берегов русла Оки.

Ключевые слова: пойма, береговой откос, р. Ока, боковая эрозия, эрозионный репер, QGIS.

