

© 2016 г. Р.Х. СУНГАТУЛЛИН*, В.А. ЦЕЛЬМОВИЧ**, Р.А. ВАФИН,
Г.М. СУНГАТУЛЛИНА*

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ИМПАКТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ОЗЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ РАБИГА КУЛЬ, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН¹

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

**Геофизическая обсерватория “Борок”, филиал ИФЗ РАН, Борок, Россия
e-mail: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

Импактные структуры позднечетвертичного (голоцен – поздний плейстоцен, до 50 тыс. лет) возраста вызывают в последнее время повышенный интерес исследователей в науках о Земле как в России, так и за рубежом [1–3 и др.]. Существует предположение, что развитие современной человеческой цивилизации коррелирует с изменениями климата на Земле, происходившими в данный период, которые, в свою очередь, могут быть связаны с последствиями падения космических тел (“импактные зимы”).

Многие озера в северной части Русской равнины имеют ледниковое, карстовое, а, возможно, и импактное происхождение. Импактные структуры в современном рельефе проявлены в виде котловин, часто заполненных водой (озера), с относительно изометричной формой. Именно эту форму наряду с наличием кольцевого вала, а также находками специфического металлического вещества, обычно считают свидетельством импактного генезиса озер. К подобным объектам, например, можно отнести озеро Светлояр в Нижегородской области, Смердячье в Московской области, Каали в Эстонии [1, 2, 4 и др.]. Возле некоторых из этих озер обнаружены объекты космического происхождения: микрометеориты, магнетитовые микросферы, стекловидные шарики с микрократерами и др. Одним из подобных объектов импактной структуры, возможно, является озеро Рабига Куль [5], расположенное на востоке Русской равнины в 100 км к югу от Казани в месте слияния крупнейших рек Европы – Волги и Камы (рис. 1). В 5 км восточнее озера расположен древний город Болгар, который в XI–XIII вв. являлся основным местом торговли между Западом и Востоком; здесь было известно металлургическое производство.

Озеро Рабига Куль (русское название Мочилице) расположено на левом берегу Волги и имеет изометричную форму (рис. 2) с небольшим валом высотой 0.6–1.2 м над окружающей местностью. Его географические координаты: 54°58'42" с. ш., 49°00'48" в. д. В настоящее время диаметр озера, занимающего самую глубокую часть котловины, составляет 125 м, глубина – 2.5 м, площадь зеркала воды – 12 тыс. м². “Кратер” по гребню вала менее изометричен (бабочковидная форма): его диаметр в широтном направлении составляет 520 м, а в меридиональном направлении – 380 м; глубина озерной котловины (от гребня вала до дна) – 23–37 м, площадь – 200 тыс. м². По соотношению среднего диаметра (~450 м) и средней глубины кратера по кромке вала (~32 м) озеро Рабига Куль отвечает типичным импактным кратерам (рис. 3), что является морфологическим аргументом в пользу отнесения исследуемой структуры к подобным объектам [2]. При этом диаметр и глубина небольших кратерных котловин прямо зависимы между собой с коэффициентом парной корреляции более 0.9 (рис. 3). Асимметричное

¹ Работа выполнена за счет средств субсидий, выделенных Казанскому (Приволжскому) федеральному университету в рамках государственной поддержки в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров и для выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проекта РФФИ № 13-05-00348а.

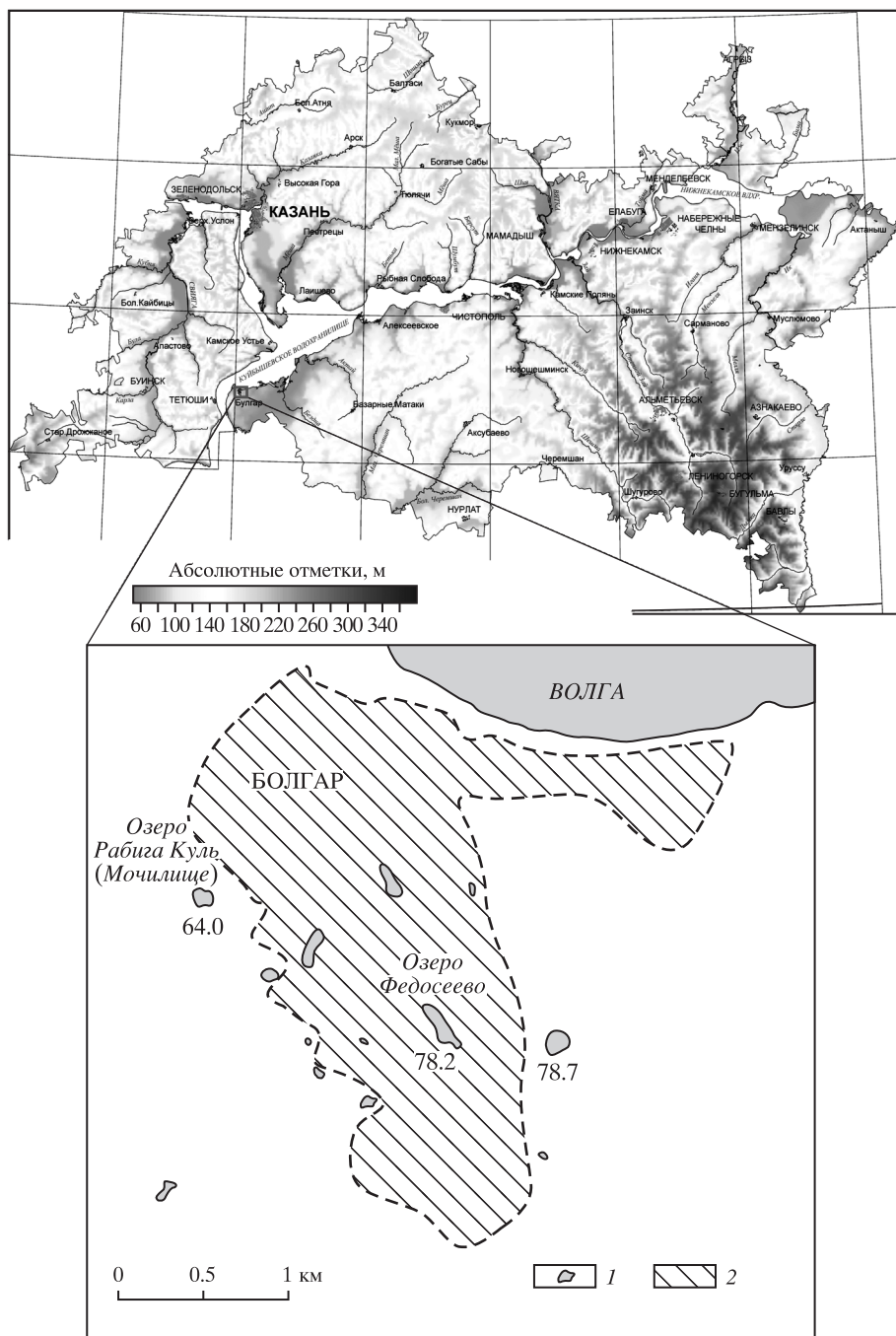


Рис. 1. Местоположение озера Рабига Куль
1 – озера, 2 – г. Болгар

строение вала исследуемого озера Рабига Куль (крутой на юге и пологий на севере, рис. 2) является также характерным признаком кольцевых валов метеоритных кратеров [2]. Необходимо также отметить, что юго-восточнее исследованного озера имеются еще изометричные озерные котловины (рис. 1), сходные по размерам и форме с озером Раби-

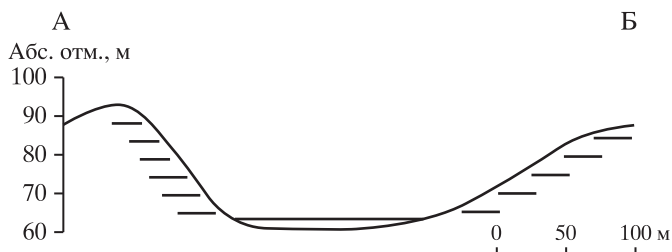


Рис. 2. Вид и поперечный профиль озера Рабига Куль
Белые точки – места отбора образцов на микрозондовый анализ, их номера

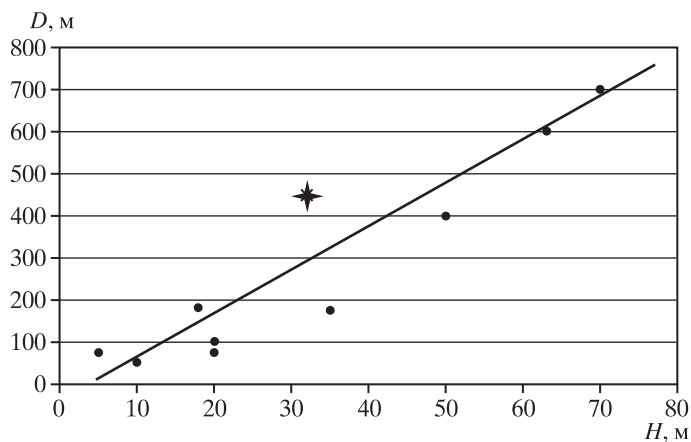


Рис. 3. Морфологические параметры импактных структур
Черные точки – данные по импактным мелким кратерам [2]; звездочка – котловина озера Рабига Куль; D – диаметр кратера по гребню вала; H – глубина кратера от гребня вала до дна

га Куль, и резко отличающиеся от старичных озер с извилисто-линейными очертаниями.

По данным бурения в районе озера Рабига Куль развиты четвертичные аллювиальные пески, суглинки, глины мощностью до 60–85 м. По сравнению со скальными породами, в рыхлых четвертичных отложениях морфологические элементы кратерных котловин сохраняются значительно хуже, и поэтому время их существования на поверхности Земли невелико. Расчеты показали [6], что кратер, близкий по размеру озеру Рабига Куль, может существовать в рельефе не более 1 млн лет (дозоплейстоценовый возраст), а продолжительность жизни озер, по данным гидрологов, обычно составляет 10–15 тыс. лет (голоцен – поздний плейстоцен).

Карстовое происхождение озера Рабига Куль исключается, т. к. карстовые озера в Среднем Поволжье обычно имеют более значительную глубину воды (первые десятки метров) и приурочены исключительно к пермским карбонатно-сульфатным толщам, которые развиты, преимущественно, на правом берегу Волги. Ледниковая гипотеза образования озера Рабига Куль также нами не рассматривается, т. к. оледенения четвертичного периода с центром в Скандинавии не захватывали данную территорию.

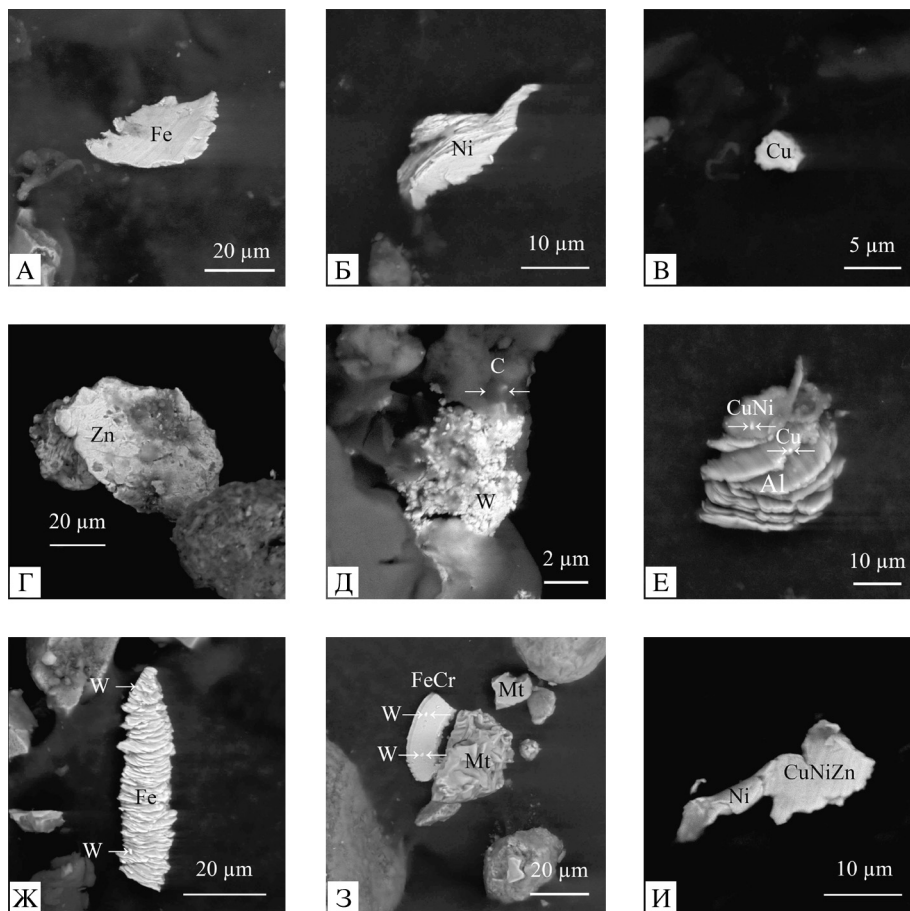


Рис. 4. Микрочастицы самородных металлов, озеро Рабига Куль

А – самородное железо; Б – самородный никель; В – самородная медь; Г – самородный цинк; Д – наночастицы самородного вольфрама, сверху – углеродистый шарик; Е – самородный алюминий с включениями наночастиц меди и интерметаллида CuNi; Ж – чешуйчатое самородное железо с наночастицами вольфрама; З – сплав FeCr с наночастицами вольфрама и оплавленный магнетит; И – агломерат частиц: чистый Ni и интерметаллид CuNiZn

В период 2007–2011 гг. при исследованиях четвертичных отложений возле озера Рабига Куль были обнаружены объекты, напоминающие космическую пыль [5]: магнетитовые микросферы, оплавленные частицы, хондры и т. п. На основании этих данных Р.А. Вафиным высказано предположение о метеоритном происхождении котловины озера Рабига Куль; однако отсутствие минералогических и геохимических доказательств не позволило ему тогда развить данное предположение. В 2013 г. этим автором на бортах склона озера преимущественно из подпочвенных песков с глубины 10 см равномерно по всему периметру отобраны 18 проб (рис. 2). Изучение проб проведено В.А. Цельмовичем на сканирующем электронном микроскопе “Tescan Vega II” с энергодисперсионным спектрометром в геофизической обсерватории “Борок” – филиале Института физики Земли РАН. В каждой отдельной пробе выполнено от 14 до 52 точечных химических анализов, общее их количество составило 497.

В образцах обнаружен (рис. 4, табл. 1, 2) большой набор самородных металлов (Fe, Ni, Zn, Cu, W, Al, рис. 4А–Е), а также интерметаллиды (FeCr, CuNiZn, CuFeAl и др.), углеродистые микросферы (рис. 4Д). Последние могут свидетельствовать о восстановительной среде, характерной для космических объектов [7]. Кроме интерметал-

Минералы в четвертичных отложениях озера Рабига Куль

Номер пробы	Минералы													
	Магнетит	Вюстит (?)	Титаномагнетит	Ильменит	Рутил	Троилит	Хромит	Циркон	Редкоземельные	Кварц	Силикат	Алюмосиликат	Графит (?)	Когенит (?)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														

Примечание: черная заливка – наличие минерала.

лидов, в изученных образцах встречены другие объекты, характерные для импактных структур – магнетитовые микросферы (рис. 5Б), оплавленные зерна кварца, ильменита, хромшпинелидов, магнетита и титаномагнетита.

В ряде работ [8–10] в качестве доказательства наличия космического вещества приводится обнаружение специфического набора из магнетитовых (“космических”) шариков, образующихся при импактах в большом количестве, а также набора из самородных металлов и интерметаллидов. Возможный механизм образования “космических” шариков предложен в [11]. На втором месте по количеству находок после “космических” шариков присутствуют частицы самородного железа, далее следуют сплавы железа и никеля, интерметаллиды и самородные металлы. Из таблицы 2 видно, что частота наших находок примерно соответствует данной закономерности. При этом следует отметить, что магнетитовые шарики со схожей морфологией могут образовываться при самых различных процессах и находки только таких шариков не могут однозначно свидетельствовать об их происхождении в результате удара метеорита. Частицы самородных металлов также могут быть образованы при восстановительных условиях, например, в восходящих флюидах [12, 13]. Поэтому задача идентификации космического вещества по составу микрочастиц не является простой и однозначной. Однако при использовании большой совокупности признаков и комплексирования методов можно с той или иной степенью уверенности говорить о том, что найденные

Самородные металлы и интерметаллиды в четвертичных отложениях озера Рабига Куль

Номер пробы	Самородные металлы						Интерметаллиды			
	Fe	Ni	Zn	Cu	Al	W	NiCuZnFe	FeCr	CuNiZn, CuZn, CuNi	CuAu
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										

Примечание: черная заливка – наличие минерала.

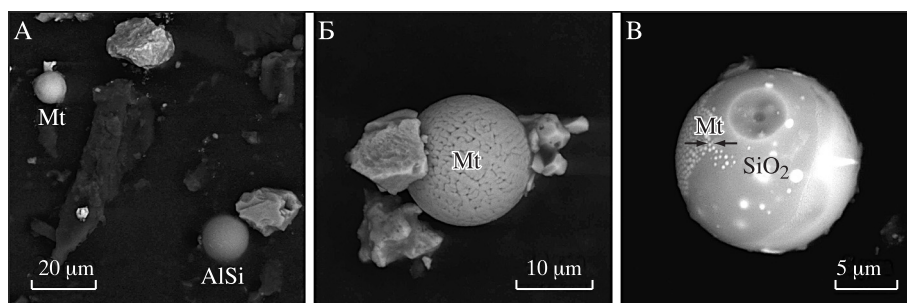


Рис. 5. Микросферы, озеро Рабига Куль

А – микросферы магнетита и алюмосиликата; Б – магнетитовый “космический” шарик; В – силикатная микросфера с магнетитовыми микроглобулами

микрочастицы имеют отношение к импакту. В случае с озером Рабига Куль набор найденных микрочастиц близок к найденным в импактах глобального масштаба [8]. Кроме того, на Русской равнине отсутствуют проявления восходящих флюидов в кайнозое, которые могли бы привести к образованию магнетитовых шариков. Поэтому есть все основания говорить о том, что обнаруженные частицы имеют метеоритное происхождение, то есть являются либо микроскопическими частями тела метеорита, либо продуктами его переработки при полете в атмосфере.

Вопрос о том, какого типа мог быть этот метеорит, давший микрочастицы такого состава подробно разобран в [14], где отмечено, что “результаты сочетания микрозондового и термомагнитного анализов показывают однообразие состава основных магнитных минералов в метеоритах независимо от их типов. Варьирует лишь концентрация одних и тех же минералов, возрастающая (в среднем на порядок) от каменных метеоритов к железным. Такое однообразие магнитных минералов свидетельствует об однообразии условий их образования, прежде всего окислительно-восстановительных условий, несмотря на большое разнообразие типов метеоритов, содержащих эти магнитные минералы”.

Таким образом, полученные результаты могут говорить об импактной природе котловины озера Рабига Куль. В пользу этого свидетельствуют изометричная форма озера, соотношение диаметра и глубины кратера, наличие космического вещества в четвертичных отложениях вокруг озера. Микрозондовые исследования позволили нам обнаружить магнетитовые микросферы, частицы с оплавленной коркой, самородные металлы (включая железо и никель), интерметаллиды, хондры. Подобные находки были обнаружены в импактных кратерных структурах четвертичного возраста в Ярославской, Московской, Нижегородской областях [1, 2] и в Эстонии [4]. Версия о том, что обнаруженные частицы возле озера Рабига Куль относятся к древнему металлургическому производству маловероятна, т. к. проведенные одним из авторов [15] исследования частиц пыли из различных участков промзоны г. Магнитогорск показали наличие оксидных форм металлов в техногенных образованиях, которые отсутствуют возле изученного озера. Хотя в изученных образцах встречаются единичные микрообъекты техногенного (?) происхождения. Это ильменит-титаномagnetитовые, железо-силикатные, алюминий-кремнистые микросферы (рис. 5А, В), которые можно отнести к артефактам древнего металлургического производства чугуна.

Как выяснилось в последнее время [3, 16 и др.], на Американском континенте, в Западной Европе и на Ближнем Востоке в верхнедриасовых отложениях (около 12.8 тыс. л. н.) обнаружено большое количество металлических и углеродных микросферул, наноразмерных алмазов, оплавленных микрочастиц (рис. 6), которые, по-видимому, образовались при столкновении Земли с крупным космическим телом диаметром несколько сотен метров. Данный объект двигался с большой скоростью и распался на множество обломков в земной атмосфере, что привело к образованию слоя импактитов и озерных котловин с характерным морфологическим обликом. По мнению геологов и палеоклиматологов, подобное явление могло явиться причиной продления на 1000 лет ледниковой эпохи, которая завершилась только к нижней границе голоцена – 11700 ± 99 л. н. [17]. Эта задержка, в свою очередь, привела к массовому вымиранию мегафауны и сокращению человеческих популяций на территории Северной Америки и Европы.

Таким образом, анализ вышеприведенных данных позволяет авторам сделать предположение, что возраст изученного озера Рабига Куль является позднелейстоценовым-голоценовым, т. к. возраст подобных по размерам озер гумидной зоны обычно не превышает 15 тыс. лет. Обнаруженные в пределах озерной котловины находки металлических микрочастиц – индикаторов импактов (магнетитовые микросферы, частицы с оплавленной коркой, самородные металлы, включая железо и никель, интерметаллиды, хондры), наряду с характерными морфологическими признаками и общегеологическими данными, могут свидетельствовать в пользу ее импактного образования в позднем дриасе, что расширяет область поисков кратерных структур в европейской части России (рис. 6). Подтверждением этого являются находки в последнее время аналогичных озерных котловин в Восточной Европе [1, 2, 4]. Дальнейшие исследования озера Рабига Куль (проходка скважин с отбором колонки донных осадков и их абсолютным датированием, поиски новых минералогических индикаторов, высокоточная гравиметрия, радарная съемка, тепловизионная томография [18]) будут способствовать расшифровке генезиса подобных озер. Необходимо отметить, что применимость перечисленных критериев как индикаторов импакта иногда вызывает сомнения в силу распростра-

ненности минералов-индикаторов. Однако опыт, накопленный В.А. Цельмовичем в диагностике минералов из доказанных по совокупности различных методов астроблем – Чиксулуб (Мексика), Карской (Сибирь), Янисъярви (Карелия), возможной астроблемы Цэнхэр (Монголия) показал схожесть найденных вышеперечисленных минералов-индикаторов импактного события. Интересно также, что ряд исследователей пытались обосновать импактное происхождение Ладожского озера и ложа Рыбинского водохранилища (неопубликованные данные). Однако в отобранных ими и проанализированных по одинаковой методике образцах не обнаружено минералов-индикаторов импакта, которые встречаются в известных астроблемах и в озере Рабига Куль.



Рис. 6. Места находок космических микрочастиц (черные точки) из позднего дриаса и область их распространения (серая область), по [3] с дополнениями
Места находок кратерных озер в Восточной Европе (белые кружки) и новая область импактных кратерных структур (черная область)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Енгальцев С.Ю. Метеоритный кратер на востоке Московской области // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. 2009. Вып. 2. С. 3–11.
2. Енгальцев С.Ю. “Светлояр” – новая импактная структура на территории Европейской России // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 3–7.
3. Wittke J.H., Weaver J.C., Bunch T.E., Kennett J.P., Kennett D.J., Moore A.M.T., Hillman G.C., Tankersley K.B., Goodyear A.C., Moore C.R., Daniel I.R., Ray J.H., Lopinot N.H., Ferraro D., Israde-Alcántara I., Bischoff J.L., DeCarli P.S., Hermes R.E., Kloosterman J.B., Revay Z., Howard G.A., Kimbel D.R., Kletetschka G., Nabelek L., Lipo C.P., Sakai S., West A., and Firestone R.B. Evidence for deposition of 10 million tonnes of impact spherules across four continents 12,800 y ago // PNAS Early Edition. 2013. P. 2088–2097. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1301760110>.
4. Raukas A. Investigation of impact spherules a new promising method for the correlation of Quaternary deposits // Quaternary International. 2000. Vol. 68–71. P. 241–252.
5. Вафин Р.А., Никитин Д.В. Тайны болгарского метеорита. Казань: Терма, 2014. 72 с.
6. Федынский В.В., Дабизжа А.И., Зоткин И.Т. Распределение космогенных структур Земли по размеру и возрасту // ДАН СССР. 1978. Т. 238. № 5. С. 1087–1090.
7. Цельмович В.А., Сунгатуллин Р.Х., Вафин Р.А. Первые результаты в пользу импактного происхождения озера Рабига Куль, Республика Татарстан // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле / Мат-лы XV Междунар. конф. Москва, 29 сентября – 1 октября 2014 г. М.: ИГЕМ РАН, 2014. С. 234–237.
8. Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А., Коллманн Х.А. Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // Физика Земли. 2008. № 7. С. 42–57.
9. Корчагин О.А., Цельмович В.А., Поспелов И.И., Цяньтао Бянь. Космические магнетитовые микросферы и металлические частицы вблизи границы пермь-триас в точке глобального стратотипа границы (слой 27, Мэйшань, Китай) // ДАН. 2010. Т. 432. № 2. С. 1–7.
10. Корчагин О.А., Цельмович В.А. Космические частицы (микрометеориты) и наносферы из пограничного слоя глины между мелом и палеогеном (К/Т) разреза Стенс Клинт, Дания // ДАН. 2011. Т. 437. № 4. С. 520–525.

11. *Цельмович В.А.* Минералы, образовавшиеся при абляции Челябинского метеорита. Экспериментальная геохимия. Т. 2. 2014. № 1. С. 119–122. http://exp-geochem.ru/JPdf/2014/01/Tselmovich_rus.pdf
12. *Лукин А.Е.* Самороднометаллические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 2. С. 61–92.
13. *Лысенко В.И., Цельмович В.А.* (2014). Интерметаллиды и самородные металлы в гераклитах – индикаторы глубинных процессов их образования. Экспериментальная геохимия. Т. 2. № 3. С. 326–331. http://exp-geochem.ru/JPdf/2014/03/Lysenko_rus
14. *Печерский Д.М., Марков Г.П., Цельмович В.А., Шаронова З.В.* Внеземные магнитные минералы // Физика Земли. 2012. № 7–8. С. 103–120.
15. *Цельмович В.А., Гиндилис Л.М., Шевелев Г.Н.* Анализ магнитной фракции в пылевой компоненте Челябинского метеорита // Метеорит Челябинск – год на Земле / Мат-лы Всерос. науч. конф. Челябинск: Агентство СІР Челябинской ОУНБ, 2014. С. 301–307.
16. *Israde-Alcántara I., Bischoff J.L., Domínguez-Vázquez G., Li H.-C., DeCarli P.S., Bunch T.E., Wittke J.H., Weaver J.C., Firestone R.B., West A., Kennett J.P., Mercer C., Xie S., Richman E.K., Kinzie C.R., and Wolbach W.S.* Evidence from central Mexico supporting the Younger Dryas extraterrestrial impact hypothesis // PNAS Early Edition. 2012. P. 738–747. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1110614109>.
17. International Chronostratigraphic Chart 2015/01. <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>
18. *Каримова Л.К., Каримов К.М., Соколов В.Н., Кокутин С.Н., Онегов В.Л.* Тепловизионная томография при изучении импактных структур // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 9. С. 28–37.

Поступила в редакцию
02.07.2015

GEOMORPHOLOGICAL, GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL EVIDENCES OF IMPACT ORIGIN OF THE RABIGA-KUL LAKE BASIN, REPUBLIC OF TATARSTAN

R.KH. SUNGATULLIN, V.A. TSELMOVICH, R.A. VAFIN, G.M. SUNGATULLINA

Summary

Isometric shape of the lake Rabiga-Kul, the ratio of its diameter and depth, the presence of the surrounding rim, the discoveries of cosmic matter in Quaternary sediments testify in favor of the impact origin of the lake basin on the border of the Pleistocene and Holocene. By means of microprobe analysis the microparticles of a size up to 20 nm were found. They consist of the native metals: iron, Nickel, tungsten, zinc; microspheres of magnetite, wustite, troilit, intermetallics, similar to those occurred at the well-known astroblemes on the Earth were found. The minerals of technogenic (?) origin, are also present, the formation of which may be associated with the metallurgical production of the XI–XIII centuries around the ancient city Bolgar.

doi:10.15356/0435-4281-2016-1-64-72