

## **БОЛТЫШСКАЯ ИМПАКТНАЯ СТРУКТУРА И МЕЛ-ПАЛЕОГЕНОВЫЙ РУБЕЖ**

**Е.П. Гуров<sup>1</sup>, П.Ф. Гожик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com  
Доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.*

<sup>2</sup> *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gozhik@igs-nas.org.ua  
Директор Института геологических наук НАН Украины, академик НАН Украины,  
профессор, доктор геолого-минералогических наук.*

Болтышская импактная структура образовалась на мел-палеогеновом рубеже, в пределах аналитической ошибки одновременно с кратером Чиксулуб, определившим катастрофические события в конце мелового периода. Изучение посткратерных осадков в Болтышской структуре позволило установить в базальной части разреза катастрофический слой отложений, связанных с образованием кратера Чиксулуб, и тем самым определить образование Болтышского кратера на 2000–5000 лет ранее Чиксулуба.

*Ключевые слова:* импактная структура, посткратерный осадок, астероид.

## **BOLTYSH IMPACT STRUCTURE AND CRETACEOUS-TERTSARY BOUNDARY**

**E.P. Gurov<sup>1</sup>, P.F. Gozhic<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com  
Doctor of geological and mineralogical sciences, senior scientific worker.*

<sup>2</sup> *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gozhik@igs-nas.org.ua  
Director of Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, academician of NAS of Ukraine,  
professor, doctor of geological-mineralogical sciences.*

The Boltysch impact structure was formed at the Cretaceous-Paleogene boundary, simultaneously, within the limit of analytical uncertainty, with the Chicxulub crater that determined the catastrophic events at the end of the Cretaceous. The investigations of post-crater sedimentary fill of the Boltysch crater discovered in its basal section a catastrophic layer formed by the Chicxulub, that proved formation of the Boltysch structure 2000–5000 years before the Chicxulub.

*Key words:* impact structure, post-crater sediment, asteroid.

## **БОВТИСЬКА ІМПАКТНА СТРУКТУРА І КРЕЙДО-ПАЛЕОГЕНОВИЙ РУБІЖ**

**Є.П. Гуров<sup>1</sup>, П.Ф. Гожик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com  
Доктор геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник.*

<sup>2</sup> *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gozhik@igs-nas.org.ua  
Директор Інституту геологічних наук НАН України, академік НАН України, професор,  
доктор геолого-мінералогічних наук.*

Бовтиська імпактна структура утворена на крейдо-палеогеновому рубежі, у межах аналітичної помилки одночасно з кратером Чіксулуб, що спричинив катастрофічні події наприкінці крейдового періоду. Вивчення посткратерних осадків у Бовтиській структурі дозволило встановити у базальній частині розрізу катастрофічний шар відкладів, пов'язаних з утворенням кратера Чіксулуб, і у такий спосіб встановити формування Бовтиського кратера на 2000–5000 тисяч років раніше Чіксулуба.

*Ключові слова:* імпактна структура, посткратерний осадок, астероїд.

## Введение

Восстановление истории метеоритной бомбардировки Земли и определение точного возраста каждой импактной структуры позволяют решать ряд важнейших задач, в том числе определять связь массовых вымираний органического мира с образованием гигантских импактных структур [Jourdan et al., 2012; Montanari, Koeberl, 2000; Rampino, Haggerty, 1996], а также выявлять возможную периодичность процесса кратерообразования. Данные о частоте метеоритной бомбардировки Земли в прошлом используются для оценки этого процесса в будущем для понимания его угрозы для человечества.

Установлено пять наиболее важных массовых вымираний в фанерозое с гибелью 40–45% биоты и более, предположительно связанных с образованием гигантских импактных структур: 1 – ашгильское с возрастом 438 млн лет; 2 – франское – 367 млн лет; 3 – татарское – 245 млн лет; 4 – норийское – 208 млн лет; 5 – маастрихтское – 65 млн лет. Вероятная периодичность катастрофических ударных событий такого или сравнимого масштаба оценивается в 100 млн лет [Jourdan et al., 2012; Rampino, Haggerty, 1996; Montanari, Koeberl, 2000; Sepkoski, 1990]. В течение последних десятилетий большое внимание уделяется поискам следов ударного кратерообразования на рубежах массовых вымираний, а также поискам импактных структур, ответственных за эти катастрофические события.

Наиболее полно изучено маастрихтское, или мел-палеогеновое массовое вымирание, связанное с образованием на п-ве Юкатан в Мексике импактной структуры Чиксулуб диаметром 180 км [Hildebrandt et al., 1991; Rampino, Haggerty, 1998; Schulte et al., 2010]. Возраст кратера, определенный  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом по ударнорасплавленным породам внутри структуры и тектитам за его пределами, по последним данным принимается равным  $(66,07 \pm 0,37)$  млн лет [Jourdan et al., 2012; Renne et al., 2010].

## Кратер Чиксулуб и мел-палеогеновая катастрофа

Геологические последствия этого ударного события выражены в образовании многокольцевой структуры диаметром около 180-240 км (рис. 1) [Hildebrandt et al., 1991;

Morgan et al., 2000] и весьма сложного комплекса окружающих ее закратерных образований. В бассейне Карибского моря и на прилегающей территории Северной, Центральной и Южной Америк на расстоянии до 1500-1700 км от центра структуры они представлены грубообломочными отложениями, в том числе близкими баллистическими выбросами, подводно-оползневными образованиями, а также отложениями цунами [Catastrophic events and mass extinctions: impacts and beyond, 2002]\*. На всей поверхности Земли на расстоянии более 1500-2000 км от центра кратера глобально распространены дальние баллистические выбросы, представленные слоем «пограничной глины» мощностью около 1 см (рис. 2). Его характерными особенностями являются повышенные содержания иридия и других элементов платиновой группы, а также присутствие ударнометаморфизованных минералов, которые доказывают генетическую связь пограничного слоя с крупномасштабным ударным событием. К настоящему времени пограничный слой установлен и детально изучен в более чем 300 непрерывных разрезах мел-палеогеновых отложений на всех континентах, а также в акватории океанов в керне многих скважин. В Европе пограничный слой описан в Дании, Италии, Испании и некоторых других районах [Alvarez et al., 1980; Claeys et al., 2002; Smit, 1999]. На территории Украины пограничный слой до настоящего времени не установлен, хотя его сохранность вероятно в районах непрерывного осадконакопления в течение маастрихта – дания. Ближайшие к Украине разрезы мел-палеогеновых отложений с сохранившимся пограничным слоем расположены в Болгарии в районе Бяла на побережье Черного моря [Adatte et al., 2002]. Во всех разрезах установлено залегание пограничных отложений на поверхности фаунистически охарактеризованных осадков верхнего маастрихта, а также залегание на их поверхности отложений, содержащих фауну основания датского яруса. Эти данные служат основанием для проведения по закратер-

\* В украинской геологической литературе обзор данных по строению кратера Чиксулуб и описанию геологических последствий его образования приведен в работах [Гуров, Гожик, 2003, 2006].

**Рис. 1.** Положение кратера Чиксулуб на п-ове Юкатан и в акватории Мексиканского залива. В юго-восточной части залива находится нефтеносное поле Кантарелл с запасами нефти 5,7 млрд м<sup>3</sup>, приуроченное к толще грубообломочных отложений кратера Чиксулуб. Вверху – концентрическое строение гравитационной аномалии импактной структуры Чиксулуб. Берег п-ова Юкатан показан белой линией. По данным [Barton et al., 2009/2010] с изменениями

**Fig. 1.** Location of the Chicxulub crater at the Yucatan Peninsula and Mexico Bay. The Cantarell field containing 5.7 billion m<sup>3</sup> of oil is concentrated in a coarse-grained deposits of the Chicxulub crater. Top right: The concentric structure of the gravity anomaly of the Chicxulub. The coastline is shown as a white line. By [Barton et al., 2009/2010] with modifications



**Рис. 2.** Пограничный слой мел-палеогеновой глины на контакте глубоководных нижнедатских и верхне-маастрихтских известняков в карьере Фонте д'Олио, восточная Италия. Слой глины с поверхности частично выбран для исследований. Деления на линейке по 1 см.

*Фото Е.П. Гурова*

**Fig. 2.** The Cretaceous-Tertiary boundary clay between the deep-water Upper Maastrichtian and Lower Danian limestones at the quarry Fonte d'Olio, Eastern Italy. The clay layer is partly pulled out for investigations. The partition of the line is 1 cm.

*Photo by E.P. Gurov*

ным отложениям кратера Чиксулуб мел-палеогенового рубежа [Montanari, Koeberl, 2000; Rampino, Haggerty, 1998; Schulte et al., 2010].

Для объяснения мел-палеогенового ударного события были предложены три альтернативные гипотезы:

1. Удар одиночного астероида [Smit, 1999].
2. Астероидный ливень [Zappala et al., 1998].
3. Кометный ливень [Hut et al., 1987].

Обнаружение фрагментов каменного метеорита в породах пограничного мел-палеогенового слоя из керна глубоководной скважины в Тихом океане позволило опровергнуть гипотезу о кометном ливне как источнике катастрофических событий конца мелового периода [Kyte, 1998; Jourdan et al., 2012].

### **Болтышский кратер как вторая импактная структура мел-палеогенового рубежа**

Второй импактной структурой мел-палеогенового рубежа является Болтышская структура на Украинском щите – УЩ (рис. 3). Возраст расплавленных импактитов Болтышской структуры по данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  метода составляет  $(65,17 \pm 0,64)$  млн лет [Kelley, Gurov, 2002] и в пределах аналитической ошибки совпадает с возрастом кратера Чиксулуб. Определение Болтышского кратера как второй импактной структуры мел-палеогенового рубежа вызывает особый интерес к установлению его роли в этих катастрофических событиях и выяснению времени его образования относительно времени возникновения кратера Чиксулуб. Вероятность одновозрастного или разорванного во времени образования этих структур рассмотрена в работах [Jolley et al., 2010; Jourdan et al., 2012; Kelley, Gurov, 2002].

Геохимические исследования состава ударнорасплавленных пород Болтышского кратера позволили установить присутствие следов хондритового ударника и доказать тем самым его образование в результате астероидного удара [Гуров и др., 1986; McDonald et al., 2009].

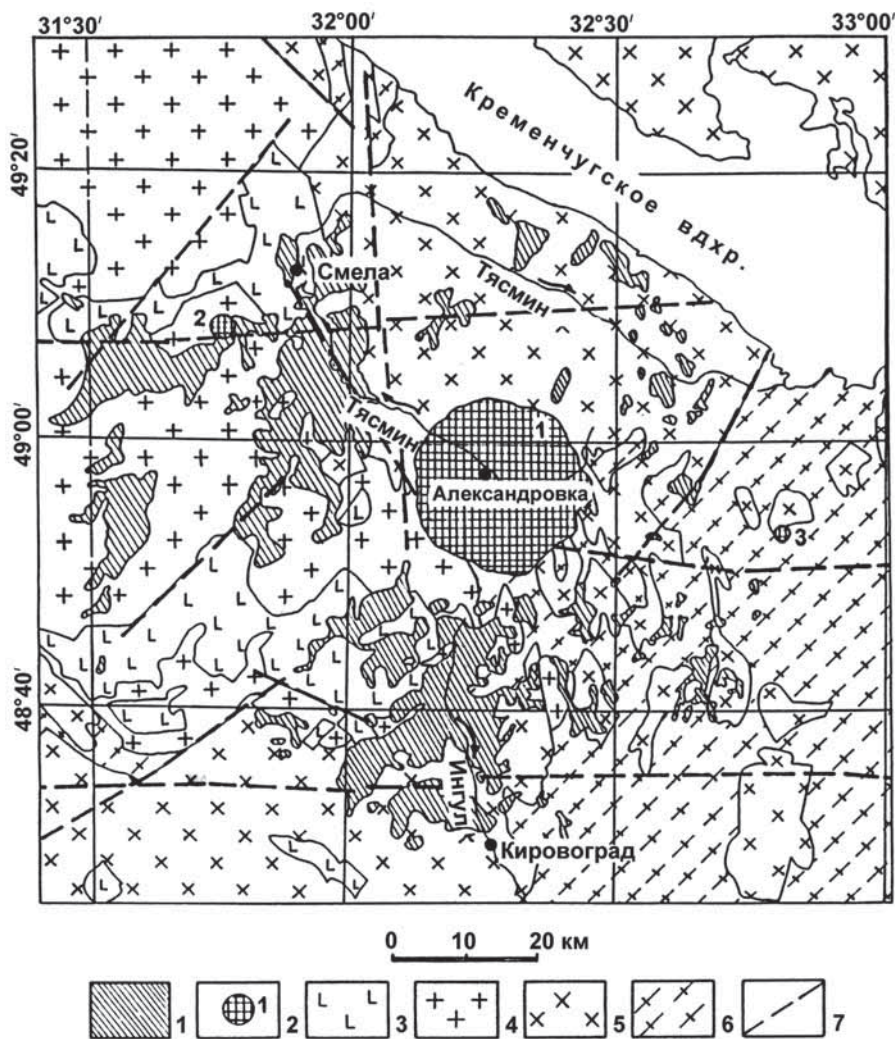
Геологические последствия возникновения Болтышской структуры рассмотрены в работах [Гуров, Гожик, 2006; Гуров, Хмельницкий, 1996]. Рассчитанная по формулам в публикациях [Мелош, 1994; Toon et al., 1997] энергия, выделившаяся при образовании

Болтышского кратера, в зависимости от угла соударения астероида с поверхностью колеблется от  $7 \cdot 10^5$  до  $1,3 \cdot 10^6$  Мт [Гуров, Гожик, 2003]. Формирование импактных структур такого масштаба по их последствиям рассматривается как явление, переходное от регионального к глобальному [Toon et al., 1997].

Важнейшие следы образования Болтышской структуры выражены в экскавации кратера диаметром 24 км и глубиной 1 км и отложении покрова ближних выбросов, сохранившегося к настоящему времени на площади около  $6500 \text{ км}^2$  [Гуров, Вальтер, 1977; Gurov et al., 2003]. Согласно расчетам по формулам, предложенным в [McGetchin et al., 1973], исходная мощность покрова достигала 300 м на расстоянии 18 км от центра кратера и понижалась до 1 м на расстоянии около 90 км от него, при этом общая площадь покрова выбросов мощностью от 1 м и выше составляла около  $25000 \text{ км}^2$  [Гуров, Гожик, 2006; Гуров, Хмельницкий, 1996]. В связи с близким возрастом кратеров Чиксулуб и Болтышского, покров выбросов Болтышской структуры в центральной части УЩ играет роль пограничного мел-палеогенового горизонта и по своему стратиграфическому положению сопоставим с глобально распространенным мел-палеогеновым пограничным слоем выбросов кратера Чиксулуб.

Кроме отложения покрова ближних выбросов, образование импактных структур сопровождается катастрофическими землетрясениями, ураганным ветром, выгоранием растительности и выбросом в стратосферу газово-пылевого облака. Согласно эмпирическим зависимостям в работе [Toon et al., 1997], катастрофические последствия образования кратера диаметром около 25 км охватывают территорию вокруг него около  $100\,000 \text{ км}^2$ .

Определение возраста Болтышской структуры по стратиграфическим данным позволяет получить дополнительные сведения о времени ее образования относительно времени образования кратера Чиксулуб. Положение Болтышского кратера в центральной части УЩ, где в настоящее время отсутствует покров мезозойских, в том числе верхнемеловых отложений, затрудняет определение нижней возрастной границы его образования. Окружающий его покров брекчий закратерных выбросов залегает непосред-



**Рис. 3.** Положение Болтышской структуры в центральной части УЩ. Схема строения кристаллического основания щита по (Геологическая карта кристаллического основания Украинского щита масштаба 1:500 000 под ред. Н.П. Щербака, 1983) с изменениями

1 – аллогенные брекчии выбросов; 2 – импактные структуры (цифры на карте): 1 – Болтышская, 2 – Ротмистровская, 3 – Зеленогайская; 3 – габбро; 4 – рапакиви; 5 – кировоградские граниты; 6 – гнейсы; 7 – разломы

**Fig. 3.** Location of the Boltsh structure in the central part of the Ukrainian Shield. The schematic map of the crystalline basement of the shield by (Geological map of the crystalline basement of the Ukrainian Shield in scale 1: 500 000 edited by N.P. Shcherbak, 1983) with modifications

1 – allochthonous breccia of ejecta; 2 – impact structures (figures on the map): 1 – Boltsh, 2 – Rotmistrovka, 3 – Zeleny Gay; 3 – gabbro; 4 – rapakivi; 5 – granite of kirovograd type; 6 – gneiss; 7 – faults

ственно на поверхности докембрийских кристаллических пород [Гуров, Вальтер, 1977; Гуров, Хмельницкий, 1996; Gurov et al., 2003].

Однако установление в бассейне р. Сухой Ташлык в составе брекчий выбросов обломков осадочных пород с фауной фораминифер – *Neoflabellina cf. reticulata* (Ress.), *Stensio iona cf. pommerana* Brotz., *Cibicides cf. voltzianus* (Orb.), *Cibicidoides cf. aktulagayensis* (Vass.) и некоторых других, позволило

обосновать нижнюю возрастную границу образования кратера верхним маастрихтом [Valter, Plotnikova, 2003]. Полученные данные свидетельствуют о существовании в этом районе к моменту образования Болтышского кратера ограниченного по площади покрова верхнемеловых отложений, породы которого при ударе были смешаны с обломочным материалом кристаллического фундамента и отложены в составе брекчий выбросов.

Верхняя возрастная граница образования Болтышского кратера установлена по залеганию слоя глин и известковистых песчаников мощностью около 4 м на поверхности закратерных выбросов к западу от кратера в бассейне р. Тясмин вблизи с. Лузановка [Мороз, Сов'як-Круковський, 1993]. В составе пород описан известковый нанопланктон, характерный для основания датского яруса, в том числе нанозоны NP – *Markalius inversus* Delf., *Coccolithus cavus* Hay et Mohler, *Prinsius bisulcus* (Str.), нанозоны NP2 – *Cruciplacolithus tenuis* Str., *Coccolithus pelagicus* (Wallich.), а также залегающих выше нанозон NP3 и NP4. Эти отложения содержат также фауну фораминифер и моллюсков, характерных для основания разреза датского яруса [Мороз, Сов'як-Круковський, 1993].

Возраст осадков кратерного озера, заполняющих Болтышскую структуру, несет важнейшую информацию о верхней возрастной границе ее образования. По данным Ф.А. Станиславского [Станіславський, 1968], полученным на основании изучения разреза посткратерных отложений по керну скв. 1715, базальная часть разреза представлена толщей «зеленовато-серых сапропелитов» палеоценового возраста мощностью 240 м. Залегающая на ее поверхности толща «серых сапропелитов» мощностью 130 м содержит растительные остатки двудольных *Dryophyllum furcinerve* Schmalh. и *Dryophyllum curticeense* (Wat.), характеризующих танетский ярус палеоцена.

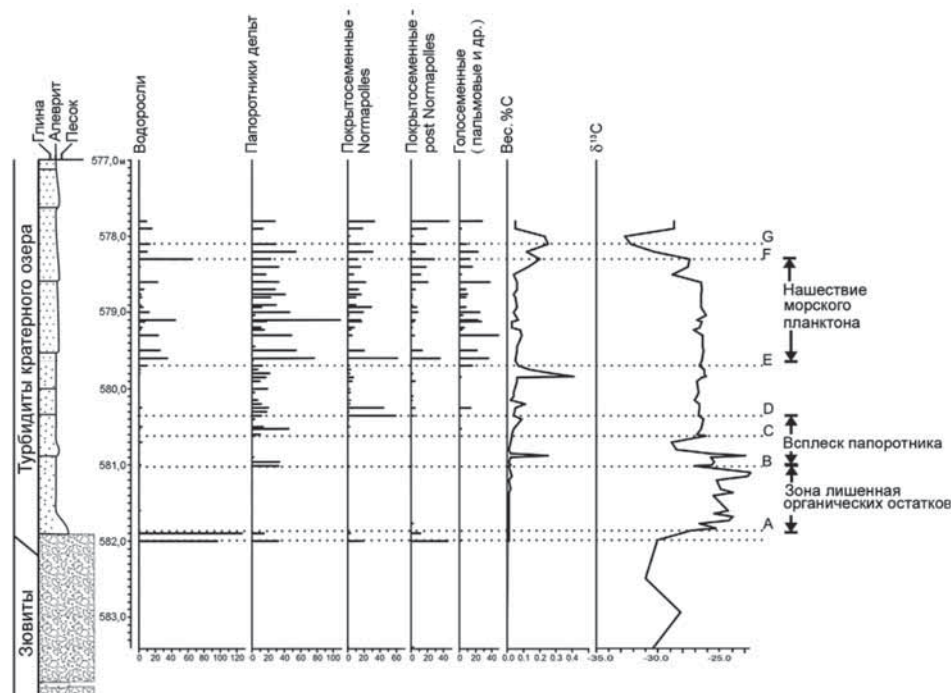
Таким образом, по данным биостратиграфических исследований установлено образование Болтышской импактной структуры на мел-палеогеновом рубеже, что согласуется с результатами определения ее возраста  $^{40}\text{Ar}^{39}\text{Ar}$  методом [Kelley, Gurov, 2002].

Для определения относительного возраста импактных структур Чиксулуб и Болтышской в 2008 г. в последней была пробурена скв. 42/11, вскрывшая толщу посткратерных осадков, залегающих на поверхности зювитов и ударнорасплавленных пород. Скважина пробурена производственным объединением «Центрукргеология» (г. Черкассы) по заказу Открытого Университета (Open University), Великобритания. Местоположение и проектная глубина скважины были определены авторами настоящей работы. Цель бурения скважины – поиски ка-

тастрофического слоя или слоя дальних выбросов кратера Чиксулуб в базальной части посткратерных осадков Болтышской структуры. Наиболее детальные исследования проведены в базальных слоях озерных осадков мощностью 4 м (рис. 4), в которых изучена палинофлора и определены содержания углерода и его изотопов [Jolley et al., 2010; Gilmour et al., 2013]. Очевидно, что отсутствие катастрофического слоя должно было свидетельствовать о более раннем возникновении кратера Чиксулуб или о синхронном образовании двух структур. В то же время в случае более раннего образования Болтышской структуры в составе ее посткратерных осадков могли сохраниться или следы катастрофических событий, сопровождающих образование кратера Чиксулуб, или глобально распространенный «иридиевый» слой его дальних выбросов.

В скв. 42/11 от забоя на глубине от 597,5 до 581,9 м вскрыты ударнорасплавленные породы и зювиты. Контакт зювитов и залегающих на их поверхности осадков имеет наклон под углом около 60°, что отражает локальные неровности дна при его общем субгоризонтальном залегании. На поверхности зювитов в основании толщи кратерных осадков залегают зеленовато-серые глинистые пески, в составе которых установлена палинофлора пресноводных хлорофитовых водорослей *Botriococcus braunii* [Jolley et al., 2010]. Кроме того, в составе осадков диагностирована пыльца угнетенных покрытосеменных, типичных для заселения поверхности лавовых полей и ближних выбросов импактных структур [Batten, 1981; Jolley et al., 2008]. Отсутствие представителей морской палинофлоры свидетельствует о возникновении Болтышской структуры на суше [Jolley et al., 2010]. Интервал времени от образования кратера и отложения в нем возвращенных зювитов до начала формирования озерного бассейна и заселения растительностью поверхности базальных осадков оценивается в 2000-5000 лет по аналогии со скоростью заселения поверхности современных крупных лавовых полей и потоков [Jolley et al., 2008; Vitousek, 2004].

На поверхности базального слоя залегают грубослоистые глинистые песчаники и алевролиты мощностью 0,89 м, полностью лишенные растительных остатков, которые интер-



**Рис. 4.** Литологическая, палинологическая и геохимическая характеристики пород базальной части разреза посткратерных осадков Болтышской импактной структуры в скв. 42/11

A – основание зоны, лишённой органических остатков; B – основание зоны широкого развития папоротников; C – основание зоны папоротников затапливаемых равнин; D – основание зоны покрытосеменных; E – основание зоны морского планктона (диноцист); F – основание зоны возврата к пресноводному бассейну; G – основание зоны преобладающего развития древних сосновых. Глубины в м. По [Jolley et al., 2010] с изменениями

**Fig. 4.** Lithological, palynological, and geochemical data of the basal section of post-crater sediments from borehole 42/11, Boltysh impact crater

A – base of barren zone; B – base of fern spike; C – base of floodplain ferns zone; D – base of mid-succession angiosperms zone; E – influx of marine plankton (dinocysts); F – return to freshwater lake; G – base of oldest pine dominance zone. Depths are in meters. By [Jolley et al., 2010] with modifications

претеряются как переработанный турбидитовыми потоками материал ближних выбросов Болтышского кратера. Особенности состава слоя характеризуются весьма низким содержанием углерода и повышением концентрации изотопа углерода  $^{13}\text{C}$  (рис. 4). Отложение этого слоя рассматривается как следствие глобальной мел-палеогеновой катастрофы, связанной с образованием кратера Чиксулуб [Jolley et al., 2010; Gilmour et al., 2013].

Выше по разрезу на поверхности бесплодной толщи в составе глинистых песчаников и алевролитов снова появляется палинофлора на глубине 581,0 м, представленная спорами папоротников и мхов, в ассоциации с которыми установлена пыльца пальм. Пик развития этой растительности отмечается на 580,6 м.

Появление в интервале 579,6-578,1 м на 2,3 м выше основания осадочной толщи ди-

ноцист *Areoligera* cf. *coronata* свидетельствует о кратковременном вторжении в кратер вод морского бассейна, которое рассматривается как следы мел-палеогеновой трансгрессии, распространившейся из Днепровско-Донецкой депрессии [Jolley et al., 2010; Guasti et al., 2005].

Восстановление сообщества пресноводной растительности фиксируется в интервале от 578,1 м и выше широким распространением *Botriococcus braunii* и некоторых других форм. Присутствующая в осадках палинофлора свидетельствует о зрелости растительного сообщества в кратерном озере [Jolley et al., 2010]. Изучение толщи осадков показало, что в дальнейшем пресноводный режим сохранялся в Болтышской структуре до позднего эоцена [Станіславський, 1968; Gilmour et al., 2013].

## Выводы

Таким образом, детальное изучение базальной части разреза отложений кратерного озера в Болтышской структуре позволило установить в них следы глобальной катастрофы, связанной с образованием пограничного мел-палеогенового кратера Чиксулуб, и доказать более позднее возникновение последнего. Согласно этим данным, образование Болтышского кратера является ударным событием позднего маастрихта, которое на несколько тысяч лет предшествовало формированию кратера Чиксулуб и связанного с ним мел-палеогенового рубежа.

Хотя обе импактные структуры возникли в результате астероидных ударов, к настоящему времени не найдены доказательства их образования в результате астероидного ливня, и небесный механизм, ответственный за их близкое во времени образование, еще не выяснен [Jolley et al., 2010; Jourdan et al., 2012]. Вместе с тем расчеты частоты кратерообразования на поверхности Земли

свидетельствуют об образовании одной импактной структуры диаметром от 20 км и более один раз в миллион лет. В связи с этим сближенное во времени образование кратеров Чиксулуб и Болтышского позволяет предполагать множественные ударные события (multiple impacts) на мел-палеогеновом рубеже [Jourdan et al., 2012].

В течение последних лет проведена ревизия константы распада  $^{40}\text{K}$  относительно системы U-Pb [Renne et al., 2010]. Пересмотр времени образования импактных структур с учетом этих новых данных показал необходимость удешевления их возраста, полученного  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  методом, на 0,7–1,2%. С учетом этой поправки рассчитаны новые значения возраста Болтышского кратера, равного  $(65,82 \pm 0,74)$  млн лет, и импактной структуры Чиксулуб –  $(66,07 \pm 0,37)$  млн лет [Jourdan et al., 2012]. Таким образом, уточненный возраст кратера Чиксулуб и связанного с его образованием мел-палеогенового рубежа составляет  $(66,07 \pm 37)$  млн лет.

## Список литературы / References

1. Гуров Е.П., Вальтер А.А. Выбросы Болтышского метеоритного кратера на Украинском щите. *Геол. журн.* 1977. Т. 37, № 6 (177). С. 79–84.

Gurov E.P., Val'ter A.A., 1977. Ejecta of the Boltysch impact structure in the Ukrainian Shield. *Geologichnyy zhurnal*, vol. 37, № 6 (177), p. 79-84 (in Russian).

2. Гуров Е.П., Гожик П.Ф. Катастрофа, яка змінила геологічну еру. *Вісн. НАН України.* 2003. № 9. С. 46–53.

Gurov E.P., Gozhik P.F., 2003. Catastrophe that changed the geological era. *Visnyk NAN Ukrainy*, № 9, p. 46-53 (in Ukrainian).

3. Гуров Е.П., Гожик П.Ф. Импактное кратерообразование в истории Земли. Киев: ИГН НАН Украины, 2006. 216 с.

Gurov E.P., Gozhik P.F., 2006. Impact cratering in the Earth's history. Kiev: Institut Geologicheskikh Nauk NAN Ukrainy, 216 p (in Russian).

4. Гуров Е.П., Колесов Г.М., Гурова Е.П. Состав импактитов Болтышской астроблемы. *Метеоритика.* 1986. Вып. 45. С. 150–155.

Gurov E.P., Kolesov G.M., Gurova E.P., 1986. Composition of impact melt rocks of the Boltysch astroleme. *Meteoritika*, iss. 45, p. 150-155 (in Russian).

5. Гуров Е.П., Хмельницкий А.Ф. Распространение и сохранность выбросов из импактных структур на примере кратеров Болтышского и Экремен. *Астроном. вестн.* 1996. Т. 30. С. 19.

Gurov E.P., A.F., 1996. Distribution and preservation of the ejecta from the impact structures by exam-

ple of the Boltysch and Acraman craters. *Astronomicheskiy vestnik*, vol. 30, p. 19-24 (in Russian).

6. Мелош Г. Образование ударных кратеров. Геологический процесс. Москва: Мир, 1994. 245 с.

Melosh H.J., 1994. Formation of impact craters: A geologic process. Moscow: Mir, 245 p. (in Russian).

7. Мороз С.А., Сов'як-Круковський Ю.В. Лузанівський страторегіон палеоцену Європи. *Палеонтол. зб. Львів. ун-ту.* 1993. № 29. С. 65–72.

Moroz S.A., Sovyak-Krukovsky Y.V., 1993. The Luzanov stratoregion of the Paleogene of Europe. *Paleontologichnyy zbirnik Lvivskogo Univversitetu*, № 29, p. 65-72 (in Ukrainian).

8. Станіславський Ф.А. Вік та стратиграфія сапропелітів Бовтиської депресії. *Геол. журн.* 1968. Т. 28, № 2 (119). С. 105–110.

Stanislavsky F.A., 1968. Age and stratigraphy of the sapropelites of the Boltysch depression. *Geologicheskyy zhurnal*, vol. 28, № 2 (119), p. 105-110 (in Ukrainian).

9. Adatte T., Keller G., Burns S., Stoikova K.H., Ivanov M.I., Vangelov D., Kramar Utz, St ben D. Paleoenvironment across the Cretaceous-Tertiary transition in eastern Bulgaria. *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond / Eds. C. Koeberl, K.G. MacLeod. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper.* 2002. Vol. 356. P. 231–251.

Adatte T., Keller G., Burns S., Stoikova K.H., Ivanov M.I., Vangelov D., Kramar Utz, St ben D., 2002. Paleoenvironment across the Cretaceous-Tertiary transition in eastern Bulgaria. *Catastrophic*



Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. Eds. C. Koeberl, K.G. MacLeod. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 356, p. 231–251 (in English).

10. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. *Science*. 1980. Vol. 208. P. 1095–1108.

Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. *Science*, vol. 208, p. 1095–1108 (in English).

11. Barton R., Bird K., Herrández J.G., Grajales-Nishimura J.M., Murillo-Mu eton G., Herber B., Weimer P., Koeberl C., Neumaier M., Schenk O., Stark J. High-impact reservoirs. *Oilfield Review*. Winter 2009/2010. Vol. 21, № 4. P. 14–29.

Barton R., Bird K., Herrández J.G., Grajales-Nishimura J.M., Murillo-Mu eton G., Herber B., Weimer P., Koeberl C., Neumaier M., Schenk O., Stark J., winter 2009/2010. High-impact reservoirs. *Oilfield Review*, vol. 21, № 4, p. 14–29 (in English).

12. Batten D.J. Stratigraphic, paleogeographic and evolutionary significance of Late Cretaceous and early Tertiary normapolles pollen. *Review of Paleobotany and Palynology*. 1981. Vol. 35. P. 125–137.

Batten D.J., 1981. Stratigraphic, paleogeographic and evolutionary significance of Late Cretaceous and early Tertiary normapolles pollen. *Review of Paleobotany and Palynology*, vol. 35, p. 125–137 (in English).

13. Catastrophic events and mass extinctions: impacts and beyond / Eds C. Koeberl, K.G. MacLeod. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 2002. Vol. 356. 732 p.

Catastrophic events and mass extinctions: impacts and beyond, 2002. (Eds C. Koeberl, K.G. MacLeod). *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 356, 732 p (in English).

14. Claeys P., Kiessling W. Alvarez W. Distribution of Chicxulub ejecta at the Cretaceous–Tertiary boundary. *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond* / Eds. C. Koeberl, K.G. MacLeod. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 2002. Vol. 356. P. 55–68.

Claeys P., Kiessling W. Alvarez W., 2002. Distribution of Chicxulub ejecta at the Cretaceous–Tertiary boundary. *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond* / Eds. C. Koeberl, K.G. MacLeod. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 356, p. 55–68 (in English).

15. Gilmour I., Gilmour M., Jolley D., Kelley S., Kemp D., Daly R., Watson J. A high-resolution non-marine record of an early Danian hyperthermal event, Boltysch crater. *Geology*. 2013. Vol. 41. P. 783–786.

Gilmour I., Gilmour M., Jolley D., Kelley S., Kemp D., Daly R., Watson J., high-resolution nonmarine record of an early Danian hyperthermal event, Boltysch crater. *Geology*, vol. 41, p. 783–786 (in English).

16. Guasti E., Kouwenhovenb T.J., Brinkhius H., Speijerd R.P. Paleocene sea-level and productivity changes at the southern Tethyan margin (El Kef, Tunisia). *Marine Micropaleontology*. 2005. Vol. 55. P. 1–17.

Guasti E., Kouwenhovenb T.J., Brinkhius H.,

Speijerd R.P., 2005. Paleocene sea-level and productivity changes at the southern Tethyan margin (El Kef, Tunisia). *Marine Micropaleontology*, vol. 55, p. 1–17 (in English).

17. Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C. Ejecta of the Boltysch impact crater in the Ukrainian Shield. In: *Impact Markers in the Stratigraphic Record* / Eds. C. Koeberl, F.C. Mortinez-Ruiz. Springer, 2003. P. 179–202.

Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C., 2003. Ejecta of the Boltysch impact crater in the Ukrainian Shield. In: *Impact Markers in the Stratigraphic Record* / Eds. C. Koeberl, F.C. Mortinez-Ruiz. Springer, p. 179–202 (in English).

18. Hildebrandt A.R., Penfield G.T., Kring D.A., Pilkington M., Camargo-Zaragoza A., Jacobsen S.B., Boynton W.V. Chicxulub crater: A possible Cretaceous-Tertiary Boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*. 1991. Vol. 19. P. 867–871.

Hildebrandt A.R., Penfield G.T., Kring D.A., Pilkington M., Camargo-Zaragoza A., Jacobsen S.B., Boynton W.V., 1991. Chicxulub crater: A possible Cretaceous-Tertiary Boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, vol. 19, p. 867–871 (in English).

19. Hut P., Alvarez W., Elder W.P., Hansen T., Kauffman E.G., Keller G., Shoemaker E.M., Weissman P.R. Comet showers as a cause of mass extinction. *Nature*. 1987. Vol. 329. P. 118–126.

Hut P., Alvarez W., Elder W.P., Hansen T., Kauffman E.G., Keller G., Shoemaker E.M., Weissman P.R., 1987. Comet showers as a cause of mass extinction. *Nature*, vol. 329, p. 118–126 (in English).

20. Jolley D., Gilmour, Gurov E., Kelley S., Watson J. Two large meteorite impacts at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Geology*. 2010. Vol. 38. P. 835–838.

Jolley D., Gilmour, Gurov E., Kelley S., Watson J., 2010. Two large meteorite impacts at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Geology*, vol. 38, p. 835–838 (in English).

21. Jolley D.W., Widdowson M., Self S. Volcanogenic nutrient fluxes and plant ecosystems in large igneous provinces: An example from the Columbia River Basalt Group. *Geological Society of Journal*. 2008. Vol. 165. P. 955–966.

Jolley D.W., Widdowson M., Self S., 2008. Volcanogenic nutrient fluxes and plant ecosystems in large igneous provinces: An example from the Columbia River Basalt Group. *Geological Society of Journal*, vol. 165, p. 955–966 (in English).

22. Jourdan F., Reimold W.U., Deutsch A. Dating Terrestrial impact structures. *Elements*. 2012. Vol. 8. P. 49–53.

Jourdan F., Reimold W.U., Deutsch A., 2012. Dating Terrestrial impact structures. *Elements*, vol. 8, p. 49–53 (in English).

23. Kelley S.P., Gurov E.P. Boltysh, another end-Cretaceous impact. *Meteoritics and Planetary Sciences*. 2002. Vol. 37. P. 1031-1043.
- Kelley S.P., Gurov E.P., 2002 Boltysh, another end-Cretaceous impact. *Meteoritics and Planetary Sciences*, vol. 37, p. 1031-1043 (in English).
24. Kyte F.T. A meteorite from the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*. 1998. Vol. 396. P. 237-239.
- Kyte F.T., meteorite from the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, vol. 396, p. 237-239 (in English).
25. McDonald, Koeberl C., Gurov E. A meteoritic component in impact melt rocks from the Boltysh impact structure, Ukraine: First Assessment. *Lunar and Planetary Science Conference*. 2009. 1252 pdf.
- McDonald I., Koeberl C., Gurov E., meteoritic component in impact melt rocks from the Boltysh impact structure, Ukraine: First Assessment. *Lunar and Planetary Science Conference*, 1252 pdf. (in English).
26. McGetchin T.R., Settle M., Head J.W. Radial thickness variation in impact crater ejecta: implications for Lunar basin deposits. *Earth Science Letters*. 1973. Vol. 20. P. 226-236.
- McGetchin T.R., Settle M., Head J.W., 1973. Radial thickness variation in impact crater ejecta: implications for Lunar basin deposits. *Earth Science Letters*, vol. 20, p. 226-236 (in English).
27. Montanari A., Koberl C. Impact Stratigraphy. The Italian Record. *Lecture Notes in Earth Sciences*. Berlin: Springer. 2000. Vol. 93. 454 p.
- Montanari A., Koberl C., 2000. Impact Stratigraphy. The Italian Record. *Lecture Notes in Earth Sciences*. Berlin: Springer, vol. 93, 454 p. (in English).
28. Morgan J., Warner M., Grieve R.A.F. Geophysical constrains on the size and structure of the Chicxulub impact crater. In: *Lecture notes in Earth Sciences*. Berlin: Springer. 2000. P. 39-45.
- Morgan J., Warner M., Grieve R.A.F., 2000. Geophysical constrains on the size and structure of the Chicxulub impact crater. In: *Lecture notes in Earth Sciences*. Berlin: Springer, p. 39-45 (in English).
29. Rampino M.R., Haggerty B.M. Impact crises and mass extinctions: A working hypothesis. The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 1996. Vol. 307. P. 11-30.
- Rampino M.R., Haggerty B.M., 1996. Impact crises and mass extinctions: A working hypothesis. The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 307, p. 11-30 (in English).
30. Renne P.R., Mundil R., Balko G., Min K., Ludwig K.R. Joint determination of  $^{40}\text{K}$  decay constants and  $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$  for the Fish Canyon sanidine standard, and improved accuracy for  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2010. Vol. 74. P. 5349-5367.
- Renne P.R., Mundil R., Balko G., Min K., Ludwig K.R., 2010. Joint determination of  $^{40}\text{K}$  decay constants and  $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$  for the sanidine standard, and improved accuracy for  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 74, p. 5349-5367 (in English).
31. Schulte P. and 40 co-authors. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*. 2010. Vol. 327. P. 1214-1218.
- Schulte P. and 40 co-authors., 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, vol. 327, p. 1214-1218 (in English).
32. Sepkoski J.J.Jr. The taxonomic structure of periodic extinction. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. Vol. 247. P. 33-44.
- Sepkoski J.J.Jr., 1990. The taxonomic structure of periodic extinction. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 247, p. 33-44 (in English).
33. Smit J. The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. *Annular Review of Earth and Planetary Sciences*. 1999. Vol. 27. P. 75-113.
- Smit J., 1999. The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. *Annular Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 27, p. 75-113 (in English).
34. Toon O.B., Turco R.P., Covey C. Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets. *Reviews of Geophysics*. 1997. Vol. 35. P. 41-78.
- Toon O.B., Turco R.P., Covey C., 1997. Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets. *Reviews of Geophysics*, vol. 35, p. 41-78 (in English).
35. Valter A., Plotnikova L. Biostratigraphic indications of the age of the Boltysh impact crater, Ukraine. In: Impact markers in the Stratigraphic record / Eds. C. Koeberl, F. Martinez-Ruiz. Berlin: Springer. 2003. P. 163-178.
- Valter A., Plotnikova L., 2003. Biostratigraphic indications of the age of the Boltysh impact crater, Ukraine. In: Impact markers in the Stratigraphic record / Eds. C. Koeberl, F. Martinez-Ruiz. Berlin: Springer, p. 163-178 (in English).
36. Vitousek P.M. Nutrient cycling and limination: as a model system. Princeton, USA: Princeton University Press, 2004. 223 p.
- Vitousek P.M., 2004 Nutrient cycling and limination: as a model system. Princeton, USA: Princeton University Press, 223 p. (in English).
37. Zappala V., Cellino A., Gladman D.G., Manley S., Migliorini F. Asteroid showers on Earth after family breaking events. *Icarus*. 1998. Vol. 134. P. 176-179.
- Zappala V., Cellino A., Gladman D.G., Manley S., Migliorini F., 1998. Asteroid showers on Earth after family breaking events. *Icarus*, vol. 134, p. 176-179 (in English).

Статья поступила  
10.11.2014