

ИЗУЧЕНИЕ ИМПАКТНОГО КРАТЕРООБРАЗОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК НАН УКРАИНЫ

Е.П. Гуров

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,

E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com

Доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.

Изучение импактного кратерообразования в ИГН НАН Украины проводится с 70-х годов XX в. Работы сотрудников института, а также ВСЕГЕИ и некоторых других организаций привели к открытию на территории Украинского щита (УЩ) восьми достоверных импактных структур, что позволяет рассматривать эту территорию, наряду с Балтийским и Канадским щитами, как одну из провинций метеоритных кратеров на поверхности Земли. Возрастной интервал установленного кратерообразования на УЩ составляет от времени образования Ильинецкого кратера 445 млн лет назад до времени формирования Болтышской структуры 65 млн лет назад. Установлено образование Болтышской структуры на мел-палеогеновом рубеже одновременно с терминальным кратером Чиксулуб в Мексике, что представляет большой интерес для расшифровки комплекса событий во время глобальной катастрофы в конце мелового периода, вызвавшей одно из тяжелейших массовых вымираний органического мира на Земле. Сотрудниками ИГН диагностирована и изучена Западная импактная структура на УЩ, в породах которой определены высокие содержания импактных алмазов. Доказано образование Оболонской структуры на северо-восточном склоне УЩ в мелководном морском бассейне. Диагностика и продолжающееся изучение в ИГН НАН Украины кратера Эльгыгытгын на Чукотке привлекло внимание мировой научной общественности к этой структуре и ее всестороннему исследованию, включая бурение скважин. Установленная нами группа кратеров Мача является до настоящего времени единственным свидетельством метеоритного кратерообразования на Алданском щите. Доказательство в 2017 г. ударного происхождения Каменецкой структуры на УЩ может служить свидетельством существования в Украине резерва еще не диагностированных импактных структур.

Ключевые слова: импактное кратерообразование; импактная структура; ударнорасплавленная порода; мел-палеогеновый рубеж.

STUDY OF IMPACT CRATER FORMATION IN INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES OF NAS OF UKRAINE

E.P. Gurov

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.

Study of impact crater formation in the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine continues since 70-ies of XX century. The works of the Institute's staff and some other scientific organizations led to discovery of eight reliable impact structures at the Ukrainian Crystalline Shield that allows to consider this area (together with the Baltic and Canadian shields) as one of the impact crater provinces on the Earth surface. The age interval of crater formation on the Ukrainian Shield is from 445 Ma, age of the Ilyinets crater, till 65 Ma – age of the Boltys structure formation. The formation of the Boltys crater was established at the Cretaceous-Tertiary boundary simultaneously with the terminal Chicxulub crater in Mexica, which has great interest for decoding of events of the global catastrophe that caused one of most heavy mass extinctions in the Earth history. The Institute staff discovered and studied the Zapadnaya impact structure at the Ukrainian Shield with high content of impact diamonds in some rock types. Formation of the Obolon structure in a shallow marine basin on the northeastern slope of the Ukrainian Shield was proved. Diagnostics and continuing study in Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine of the El'gygytgyn crater in Chukotka attracted the attention of the world scientific community to investigation of this structure using drilling of boreholes. The group of the Macha craters that we installed, still is the only evidence of meteorite crater forming process at the Aldan Shield. Proof of impact origin of the Kamenetsk structure on the Ukrainian Shield in 2017 may indicate preservation of some reserve of impact structures not yet established.

Key words: impact cratering; impact structure; impact melt rock; Cretaceous-Tertiary boundary.

© Е.П. Гуров, 2018

ВИВЧЕННЯ ІМПАКТНОГО КРАТЕРОУТВОРЕННЯ В ІНСТИТУТІ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАН УКРАЇНИ

Є.П. Гуров

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,

E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com

Доктор геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник.

Вивчення імпактного кратероутворення в ІГН НАН України проводиться з 70-х років ХХ ст. Роботи співробітників інституту і деяких інших наукових організацій привели до відкриття на Українському щиті (УЩ) восьми достовірних імпактних структур, що дозволяє розглядати цю територію, поряд з Балтійським і Канадським щитами, як одну з провінцій метеоритних кратерів на поверхні Землі. Віковий інтервал кратероутворення на УЩ становить від 445 млн років – часу створення Іллінецької структури – до часу формування Бовтиської структури 65 млн років тому. Встановлено утворення Бовтиської структури на крейда-палеогеновому рубежі одночасно з термінальним кратером Чіксулуб в Мексиці, що має велике значення для розшифрування комплексу подій під час глобальної катастрофи наприкінці крейдового часу, що призвела до одного з найтяжчих масових вимирань органічного світу в історії Землі. Співробітниками інституту діагностована і вивчена Західна імпактна структура на УЩ, у породах якої визначено високий вміст імпактних алмазів. Встановлено утворення Оболонської структури на північно-східному схилі УЩ у мілководному морському басейні. Діагностика в ІГН НАН України кратера Ельгігітгин на Чукотці привернуло увагу міжнародного наукового товариства до його всебічного вивчення, включаючи буріння свердловин. Встановлена співробітниками інституту група кратерів Мача на Алданському щиті досі залишається єдиним свідченням слідів метеоритного кратероутворення в цьому регіоні. Доведення у 2017 р. ударного походження Кам'янецької структури на УЩ може слугувати свідченням існування в Україні резерву ще не встановлених імпактних структур.

Ключові слова: імпактне кратероутворення; імпактна структура; ударнорозплавлена порода; імпактний алмаз; крейда-палеогеновий рубіж.

Введение

Институт геологических наук (ИГН) НАН Украины является единственной научной организацией, в которой на протяжении 47 лет проводится систематическое изучение импактного кратерообразования на территории Украины и за ее пределами. Основа изучения метеоритных кратеров в бывшем СССР была заложена во ВСЕГЕИ В.Л. Масайтисом и его сотрудниками Т.В. Селивановской и М.В. Михайловым, которыми был открыт гигантский Попигайский метеоритный кратер на Анабарском массиве [Масайтис и др., 1971] и начаты поиски импактных структур в других регионах Союза [Масайтис, 1973, 1974; Масайтис и др., 1976, 1980]. Изучение ударного кратерообразования в ИГН АН УССР было начато А.А. Вальтером и В.А. Рябенко в 1971–1973 гг. при исследовании ударного метаморфизма кварца Ильинецкой структуры, в результате чего ими одновременно с В.Л. Масайтисом было доказано ее метеоритное происхождение [Вальтер, Рябенко, 1973; Масайтис, 1973].

Изучение импактных структур Украинского щита

Ильинецкая структура расположена в западной части Украинского щита (УЩ) в бассейне

р. Южный Буг (рис. 1). Кратер образован в породах кристаллического фундамента, представленных гранитоидами, гнейсами и чарнокитами. Строение Ильинецкой структуры изучено по материалам бурения, проводимого Г.Г. Виноградовым, В.А. Голубевым и другими геологами, а также по изучению естественных обнажений и древних карьеров, расположенных на ее территории. Ильинецкая структура, размером 4,1x3,4 км и глубиной до 270 м, представлена глубоко эродированным кратером с центральным поднятием [Вальтер, Рябенко, 1977; Масайтис и др., 1980; Gurov, Ryabenko, 1984; Gurov et al., 1998]. Возраст Ильинецкого кратера по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метода составляет 444 млн лет [Pesonen et al., 2004].

Кратер заполнен толщей аллогенных брекчий и зювитов, в южной части которой залегает пластообразное тело расплавленных импактитов мощностью до 30 м. Эти породы вскрыты древними карьерами в обоих бортах долины р. Собик в южной части кратера. Зювиты, являющиеся наиболее распространенными породами структуры, представлены туфоподобными образованиями, состоящими из мелких обломков кристаллических пород основания и частиц девитрифицированного стекла, сцементированных тонкообломочным материалом. Механические свойства

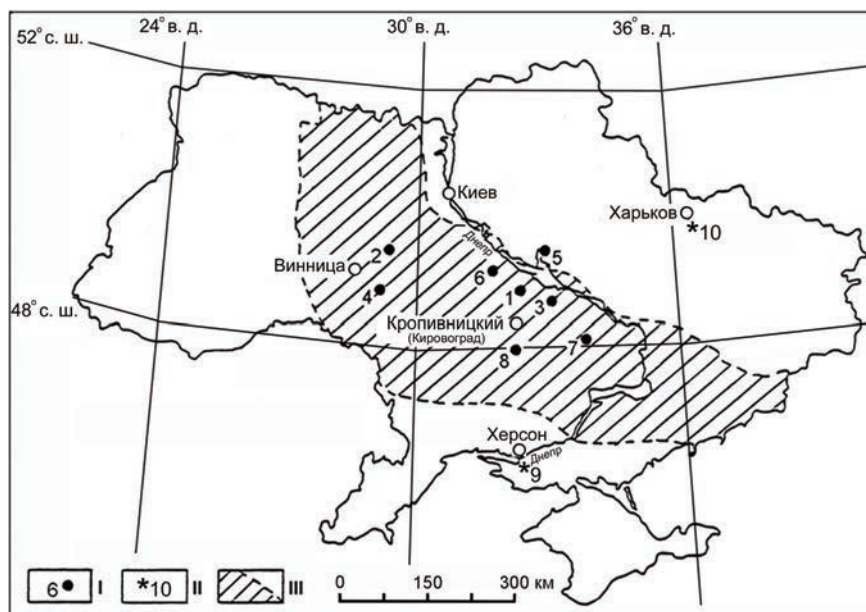


Рис. 1. Импактные структуры на территории Украины

Достоверные структуры: 1 – Болтышская, 2 – Западная, 3 – Зеленогайская, 4 – Ильинецкая, 5 – Оболонская, 6 – Ротмистровская, 7 – Терновская, 8 – Каменецкая. *Возможные импактные структуры:* 9 – Алешковские Пески, 10 – Харьковский кратер.

I – достоверные импактные структуры; II – возможные импактные структуры; III – граница Украинского щита

Fig. 1. Impact structures on the territory of Ukraine

Reliable structures: 1 – Boltysk, 2 – Zapadnaya, 3 – Zeleniy Gai, 4 – Ilyinets, 5 – Obolon, 6 – Rotmistrovka, 7 – Ternovka, 8 – Kamenetsk. *Possible impact structures:* 9 – Aleschky, 10 – Kharkov crater.

I – reliable impact structures; II – possible impact structures; III – boundary of Ukrainian Shield

зювитов и легкость технической обработки определили их широкое использование в изготовлении жерновов, которое, по данным П.И. Хавлюка [Гуров и др., 2006], было начато в III в. н. э. племенами черняховской культуры. Большого развития производство жерновов из Ильинецких зювитов достигло в X–XIII вв. на территории Киевской Руси. Добыча зювитов и изготовление жерновов были прекращены при татаро-монгольском нашествии. Следы добычи зювитов на протяжении около 1000 лет сохранились в сложной системе карьеров, на стенках которых видны следы древних инструментов. В настоящее время ведется хищническая добыча зювитов и расплавных импактитов для нужд местного населения, при этом навсегда разрушаются остатки древних карьеров как археологических памятников материальной культуры Украины III–XIII вв.

Установление метеоритного происхождения Болтышской импактной структуры на УЩ [Масайтис, 1973; Голубев и др., 1974; Юрк и др., 1975] показало важность проведения целенаправленных поисков и изучения метеоритных кратеров в Украине. Начиная с 1975 г. изучение импактного кратерообразования в ИГН АН УССР по инициативе А.А. Вальтера было расширено. К выполнению этих работ были привлечены Е.П. Гуров, Е.П. Гурова, А.И. Серебренников, Р.Б. Ракицкая, В.В. Ефименко, Е.Е. Лазаренко и некоторые другие специалисты. Один из главных объектов их исследований – Болтышский метеоритный кратер, или Болтышская импактная структура.

Болтышская структура является не только самым крупным кратером на УЩ, но и во всей южной части Восточно-Европейской платформы. Особый интерес изучение структуры приобрело в результате установления ее образования на мел-палеогеновом рубеже одновременно с кратером Чиксулуб в Мексике, ответственным за катастрофические события и массовое вымирание биоты в конце мелового периода [Kelley, Gurov, 2002].

Болтышская структура расположена в центральной части УЩ в бассейне р. Тясмин – правого притока р. Днепр. Структура образована в кристаллических породах щита, представленных в этом регионе Кировоградскими гранитами и гнейсами протерозойского возраста. Диаметр кратера составляет 24 км. Основными элементами его строения являются центральное поднятие, окружающий его глубокий внутренний кратер и мелкая периферическая депрессия. Кратер окружен эродированным валом, реликты которого обнажаются на современной поверхности на северо-восточном краю структуры в бассейне р. Тясмин [Гуров, Гурова, 1991; Gurov, Ryabenko, 1984]. Внутренний кратер заполнен зювитами и расплавными импактитами, образующими кольцеобразную залежь диаметром 12 км вокруг центрального поднятия. Субгоризонтальная поверхность залежи свидетельствует о том, что высокотемпературный подвижный ударный расплав образовал кольцеобразное озеро вокруг центрального поднятия в наиболее глубокой части импактной структуры. Расплавные импактиты представлены микропорфировыми породами с

микролитами ромбического пироксена и плагиоклаза в стекловатой матрице. Химический состав этих пород соответствует составу смеси Кировоградских гранитов и гнейсов в отношении 5:1 [Масайтис и др., 1980; Grieve et al., 1987; Гуров, Гурова, 1991]. Источником акцессорной минерализации платины и меди в импактитах является вещество кратерообразующего астероида [Gurov et al., 2015].

Глубина импактной структуры после застывания ударного расплава составляла в ее центральной части 500–550 м. Заполнение кратера происходило вследствие разрушения вала и толщи брекчий выбросов. После понижения температуры поверхности толщи расплавных импактитов и зювитов ниже 100°C в наиболее глубокой части воронки вокруг центрального поднятия началось формирование озерного бассейна [Gurov et al., 2003, 2006]. Отложение осадков в кратерном озере привело к образованию месторождения горючих сланцев, разведанные запасы которых составляют 4 млрд т [Grieve, Masaitis, 1994].

Болтышская структура окружена частично сохранившимся покровом выбросов в виде прерывистой толщи брекчий, распространенных на общей площади около 6500 км². При проведении геологосъемочных работ в этом регионе Г.Г. Андрейчиком, В.П. Брянским, В.Г. Злобенко, Л.И. Рябчун и другими геологами брекчии выбросов были диагностированы как покров туфогенных пород, осадочных брекчий или осадков невыясненного генезиса. Диагностика брекчией толщи как покрова закратерных выбросов Болтышской структуры выполнена в работах [Вальтер, Рябенко, 1977; Гуров, Вальтер, 1977]. Подробная характеристика покрова рассмотрена в публикациях [Гуров, Хмельницкий, 1996; Gurov et al., 2003]. Наиболее высокая сохранность выбросов установлена к северо-востоку от кратера в бассейне р. Тясмин, где наблюдаются многочисленные обнажения импактных брекчий. При радиусе Болтышского кратера, равном 12 км, протяженность покрова достигает от 3 до 5 его радиусов. Согласно расчетам исходной мощности покрова по эмпирической формуле, выбросы мощностью от 300 м на валу структуры до 10 м захватывали площадь около 7000 км², выбросы периферической части покрова мощностью от 10 до 1 м занимали площадь вокруг кратера около 25 000 км² [Гуров, Хмельницкий, 1996]. Особый интерес изучение покрова закра-

терных выбросов Болтышской структуры приобрело после установления ее образования одновременно с кратером Чиксулуб в конце мелового периода, в результате чего эти отложения могут быть синхронизированы с глобально распространенными дальними выбросами Чиксулуба на мел-палеогеновой границе [Гуров, Гожик, 2015].

Время образования Болтышской структуры и изотопный возраст ее ударнорасплавленных пород по данным К-Аг метода ранее был определен от 55-56 до 170 млн лет. Возраст расплавных импактитов ⁴⁰Ar/³⁹Ar методом в Открытом Университете (Великобритания) определен в (65,17±0,64) млн лет. При значении возраста кратера Чиксулуб, равном (65,46±0,6) млн лет, определено одновременное образование этих импактных структур [Kelley, Gurov, 2002]. Для определения относительного возраста кратеров Открытым Университетом было профинансировано бурение по нашему проекту скважины в Болтышской структуре в 2009 г. до глубины 598 м и проведено детальное изучение керна толщи посткратерных осадков. Результатом этих исследований явилось определение вероятного образования Болтышской структуры на 2000–5000 лет ранее кратера Чиксулуб [Jolley et al., 2010]. В результате ревизии константы распада ⁴⁰K относительно системы U-Pb и внесения соответствующих поправок последнее значение возраста Болтышского кратера составляет (65,82±0,74) млн лет, а кратера Чиксулуб и мел-палеогеновой катастрофы – (66,07±0,37) млн лет [Jourdan et al., 2012].

В 1975 г. в центральной части УЩ в бассейне р. Тясмин была описана Ротмистровская импактная структура [Масайтис и др., 1976]. Структура представлена простым чашеобразным кратером диаметром около 3 км и глубиной в центральной части 380–400 м. Строение структуры охарактеризовано в работах [Вальтер, Рябенко, 1977; Масайтис и др., 1980; Гуров, Гурова, 1991]. Возраст кратера по данным К-Аг метода составляет (130±10) млн лет [Valter, Plotnikova, 2003].

В основании разреза структуры залегает толща аллогенных брекчий и зювитов мощностью до 80 м. Выше до современной поверхности кратер заполнен толщей посткратерных осадков мощностью до 300 м. Важной особенностью толщи является сохранность в ней горизонта брекчий, диагностированных как дальние

выбросы Болтышской импактной структуры [Гуров, Гурова, 1991; Gurov et al., 2003]. Необходимо отметить, что в изучении импактных структур на поверхности Земли этот факт является единственным установленным случаем перекрытия импактной структуры выбросами более молодого кратера.

Важным этапом работ в ИГН НАН Украины явились поиски импактных структур и связанных с ними месторождений импактных алмазов. Первые находки и диагностика импактных алмазов в мировой практике выполнены сотрудниками ВСЕГЕИ под руководством В.Л. Масайтиса в импактитах Попигайского метеоритного кратера на Анабарском массиве [Масайтис и др., 1972]. Импактные алмазы в метеоритных кратерах образуются по графиту, содержащемуся в подвергшихся удару породах мишени при давлении около 60 ГПа. По своим свойствам они могут быть использованы только в технических целях. После установления широкого распространения импактных алмазов в Попигайском кратере и перспектив обнаружения их промышленных месторождений в СССР было принято постановление о засекречивании всех данных по этому минералу с грифом “совершенно секретно”.

В ИГН НАН Украины целенаправленные работы по поискам метеоритных кратеров на территории СССР и изучению их алмазоносности выполняли с 1975 г. по заданию Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике согласно программе, разработанной А.А. Вальтером и В.А. Рябенко. Первые импактные алмазы в Украине были установлены А.А. Вальтером и Е.П. Гуровым в импактитах Ильинецкого кратера в 1975 г. В начале 1976 г. ими в результате изучения керна скважины, пробуренной Правобережной экспедицией Министерства геологии УССР под руководством Э.В. Мельничука в пределах отрицательной гравитационной аномалии неизвестного происхождения, был доказан импактный генезис структуры и установлена ее алмазоносность. По рекомендациям А.А. Вальтера и Е.П. Гурова были начаты поисково-разведочные работы с целью детального изучения этой структуры и ее алмазоносности, а сама структура получила наименование Западная импактная структура. В последующие годы под руководством Э.В. Мельничука и В.А. Голубева в ней было пробурено 116 скважин глубиной до 300 м. Она расположена в бассейне р. Раставица, левого притока р. Рось.

Структура представлена глубоко эродированным кратером размером от 3,2 км с северо-запада на юго-восток и 2,3 км с северо-востока на юго-запад. Сотрудниками ИГН НАН Украины было охарактеризовано ее строение и определены основные типы алмазоносных пород, в том числе зювиты с содержанием импактных алмазов около 3-4 карат на 1 т, в виде мощной толщи, занимающие большую часть объема кратера, и расплавные импактиты с содержанием алмазов до 11 карат на 1 т, образующие секущие тела в толще зювитов и аллогенных брекчий. Однако уже с начала 80-х годов XX ст. выяснилась нецелесообразность добычи импактных алмазов в связи с высокой стоимостью и технической сложностью этих работ. В то же время из-за засекречивания данных об алмазоносности метеоритных кратеров первое описание Западной импактной структуры было опубликовано только в 1985 г. без указания ее положения и упоминания об импактных алмазах [Гуров и др., 1985]. После двадцатилетнего запрета на публикацию данных по алмазоносным кратерам и импактным алмазам первые материалы были опубликованы в открытой печати только в 90-х годах прошлого века [Вальтер и др., 1999; Grieve, Masaitis, 1994; Gurov et al., 1995]. Наиболее полное описание Западной импактной структуры приведено в работе [Gurov et al., 2002]. Изучение ударного метаморфизма пород Западной структуры легло в основу защищенной в 2001 г. кандидатской диссертации Т.М. Сокур.

Зеленогайский кратер, или Зеленогайская импактная структура, диаметром около 1,4 км диагностирована и описана А.А. Вальтером и его соавторами в 1976 г. в результате изучения керна скважины, пробуренной В.П. Брянским в пределах отрицательной гравитационной аномалии. Кратер расположен в 50 км к юго-востоку от центра Болтышской структуры, в связи с чем предполагалось одновременное образование двух этих структур [Вальтер и др., 1976; Вальтер, Рябенко, 1977]. Скважиной в основании разреза кратера вскрыта толща аутигенных глыбовых брекчий, на поверхности которых залегают аллогенные брекчии с отчетливыми признаками ударного метаморфизма минералов. На поверхности импактных пород залегают посткратерные осадки, возраст которых по данным палинологических исследований Р.Н. Ротман соответствует третичному, возможно, палеогеновому времени [Valter et al., 1997]. Авторы этой работы обосно-

вызывают более сложное строение структуры в виде двух сближенных воронок, образованных двумя фрагментами астероида. Возраст структуры до настоящего времени является недостаточно изученным. В работе [Масайтис и др., 1980] предполагается ее образование ранее Болтышской структуры.

Оболонская импактная структура расположена на северо-восточном склоне УЩ на водоразделе рек Сула и Хорол. Соответствующая Оболонской структуре гравитационная аномалия была установлена С.Я. Шерешевской, в пределах которой В.И. Ванденко были пробурены две глубокие скважины [Вальтер, Рябенко, 1977]. Сходство строения гравитационных аномалий Болтышской и Оболонской структур послужило основанием для предположения об импактном происхождении последней. Изучение керна скважин подтвердило представление о метеоритном генезисе Оболонской структуры и выявило основные черты ее строения [Масайтис и др., 1976; Вальтер и др., 1977].

Оболонская структура представляет собой сложный кратер с центральным поднятием, диаметр которого по краю воронки составляет около 17 км. Она является единственным кратером на УЩ, образование которого произошло в условиях мелководного морского бассейна [Гуров, Гожик, 2006; Gurov et al., 2009]. Структура перекрыта мощной толщей мезокайнозойских осадочных образований. Поверхность кристаллического основания залегает на глубине от 450 м на юго-западном краю структуры до 800 м на северо-западном. Слабо выраженное центральное поднятие окружено кольцевым трогом, выполненным аллогенными литическими брекчиями и зювитами. Породы и минералы брекчий содержат отчетливые проявления ударного метаморфизма [Вальтер и др., 1977; Гуров и др., 1995; Гуров, Гожик, 2006]. На поверхности пород аллогенного комплекса залегают образования перекрывающего комплекса осадков мощностью до 700 м. Особенностью его строения является наличие в толще песчаников горизонта брекчий, образованных в результате обратного падения в кратер материала выбросов. Образование кратера в мелководном морском бассейне сопровождалось формированием волны цунами, следы которой в виде горизонта брекчий и конгломератов прослежены скважинами на расстояние до 38 км от центра структуры. Возраст кратера по стратиграфическим данным соответствует

байосскому времени; изотопный возраст импактных стекол, определенный К-Аг методом, составляет (169 ± 7) млн лет [Gurov et al., 2009].

Положение Оболонского кратера на склоне щита вблизи от границы с Днепроовско-Донецким бассейном позволило рассматривать его как перспективную нефтегазоносную структуру [Крайюшкин, Гуров, 1989]. Ее сходство с некоторыми нефтегазоносными импактными структурами Северо-Американского континента, в том числе с кратерами Эймс и Авак, может служить подтверждением этих представлений [Гуров и др., 2011].

Ударное происхождение Терновской импактной структуры, расположенной на востоке центральной части УЩ в бассейне рек Ингул и Саксагань, было доказано в 1979 г. А.П. Никольским [Никольский и др., 1982]. Терновская структура представляет собой интенсивно эродированный кратер с центральным поднятием, в котором на современной поверхности обнажается комплекс импактитов, представленных аллогенными литическими брекчиями и секущими дайкообразными телами расплавных импактитов. Диаметр структуры оценивается от 11 до 15 км. Терновская структура расположена в северной части Криворожского железорудного бассейна. В строении мишени кратера преобладают метаморфические образования криворожского комплекса нижнего протерозоя с возрастом 1900-2600 млн лет. Южная часть структуры вскрыта Первомайским железорудным карьером. Возраст Терновской структуры по данным К-Аг метода составляет 350 млн лет [Никольский и др., 1982].

В 1984 г., в соответствии с программой XXVII сессии Международного геологического конгресса, Е.П. Гуровым и В.А. Рябенко была подготовлена и проведена экскурсия № 98 «Импактные структуры Украинского щита» [Gurov, Riabenko, 1984]. Участники экскурсии посетили древние карьеры Ильинецкого кратера и действующие карьеры гранитов, которые являются мишенью этой структуры. Для ознакомления с импактитами Болтышского кратера участникам был представлен kern скв. 50 глубиной 736 м, пробуренной при подготовке к экскурсии.

После длительного перерыва в 2017 г. на УЩ был установлен новый метеоритный кратер – Каменецкая импактная структура [Гуров и др., 2018; Gurov et al., 2017]. Соответствующую Каменецкой структуре отрицательную гравитационную аномалию в пределах Кировоградского блока

УЩ выявили сотрудники экспедиции № 37 Коммунального предприятия «Кировгеология» в 2004 г. и определили ее как «Кам'янецька ендегенна експлозивна структура», а также «Кам'янецька палеовулканічна структура» [Романюк та ін., 2006]. Авторами этой работы подчеркивалось сходство Каменецкой структуры с импактными структурами УЩ, ударное происхождение которых этими исследователями отрицается [Романюк та ін., 2006]. В связи с указаниями на сходство Каменецкой структуры с импактными кратерами сотрудниками ИГН НАН Украины были проведены исследования пород структуры для возможного пересмотра ее генезиса. Установленные нами проявления ударного метаморфизма в образцах пород позволили пересмотреть представления об эндогенной природе Каменецкой структуры и доказать ее ударно-метеоритное происхождение [Гуров и др., 2018].

Каменецкая структура представляет собой глубоко эродированный простой чашеобразный

кратер диаметром 1,0-1,2 км и глубиной до 130 м. К настоящему времени в результате эрозии в кратере сохранилась нижняя часть толщи аллогенных брекчий, содержащая ударнометаморфизованные породы и минералы. Верхняя часть разреза заполняющего комплекса и толща посткратерных осадков эродированы. Глубокий срез кратера позволяет предполагать его древний, вероятно, палеозойский возраст [Gurov et al., 2017].

Поиски и изучение импактных структур на Чукотке, Алданском щите и Памире

В соответствии с Постановлением № 150 от 11 апреля 1975 г. Госкомитета Совета Министров СССР по науке и технике, сотрудниками ИГН АН УССР были проведены поиски метеоритных кратеров на Украине и в некоторых других регионах Советского Союза.

В 1978 г. нами был диагностирован метеоритный кратер Эльгыгытгын на Чукотке [Гуров и др., 1978] (рис. 2). Со времени открытия

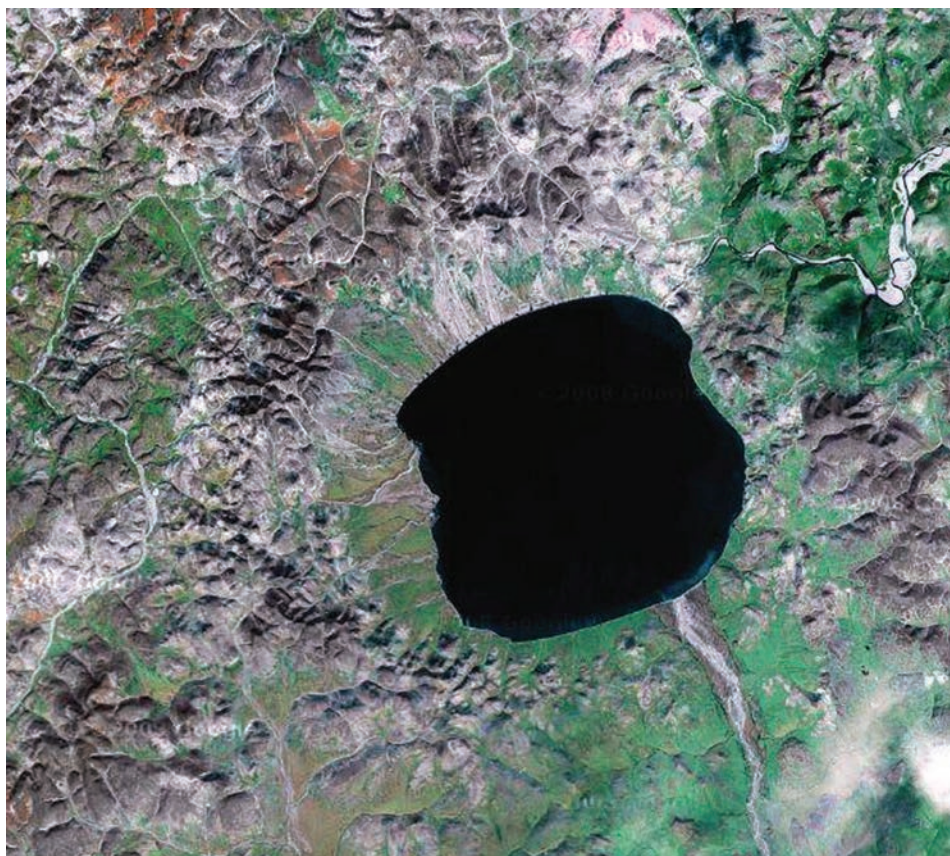


Рис. 2. Космический снимок кратера Эльгыгытгын на Чукотке. Кратер представлен в виде круговой депрессии, окруженной кольцевым валом. Оз. Эльгыгытгын, занимающее наиболее глубокую часть депрессии, смещено относительно центра к ее восточному краю [Google Maps, 2018]

Fig. 2. Space image of the El'gygytyn crater in Chukotka. The crater is represented in the form of circular depression, surrounded by annular rim. The El'gygytyn Lake that occupies the deepest part of depression, is offset from the center to its eastern edge [Google Maps, 2018]

С.В. Обручевым в 1934 г. в неисследованной центральной части Чукотского полуострова глубокой депрессии, окруженной кольцеобразным валом высотой около 180 м, она рассматривалась как вулканическая структура. Впервые представления об ее возможном метеоритном происхождении были высказаны И.А. Некрасовым и П.А. Раудонисом [Некрасов, Раудонис, 1963], которые, однако, не обнаружили признаков ее ударного происхождения и отказались от этой гипотезы. В 1976 г. американские ученые R.S. Dietz, J.F. McHone на основании изучения космических снимков этой структуры высказали предположение о том, что она представляет собой крупнейший на поверхности Земли молодой метеоритный кратер [Dietz, McHone, 1976]. В результате проведения экспедиционных работ в структуре в 1977 г. сотрудниками ИГН АН УССР Е.П. Гуровым, А.А. Вальтером и А.И. Серебренниковым были получены доказательства ее метеоритного происхождения [Гуров и др., 1978; Gurov et al., 1979]. Особый интерес к изучению структуры вызван тем, что кратер Эльгыгытгын является единственной импактной структурой на поверхности Земли, образованной в комплексе вулканогенных пород кислого состава. Кратер Эльгыгытгын в результате наших исследований привлек внимание специалистов МГУ и ГЕОХИ им. Вернадского, которые провели в нем работы под руководством В.И. Фельдмана в 1978 и 1979 гг. [Фельдман и др., 1981; Дабига, Фельдман, 1982]. В течение 1978–1980 гг. при поддержке Чаунской геологоразведочной экспедиции работы в кратере были продолжены Е.П. Гуровым, Е.П. Гуровой, А.И. Серебренниковым, Р.Б. Ракицкой и В.И. Ефименко. Была составлена схематическая карта геологического строения кратера, определено строение и состав подвергшейся удару толщи вулканогенных пород, впервые в мировой практике изучены основные закономерности ударного метаморфизма кислых вулкаников, изучен состав ударнорасплавленных пород, определены масштабы распространения разломов вокруг импактной структуры [Гуров, Гурова, 1979, 1991; Gurov, Koeberl, 2004; Gurov et al., 2005, 2007]. Несмотря на исчерпывающие доказательства метеоритного происхождения структуры, ученые из Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института РАН на протяжении 40 лет отстаивают представления о вулканотектонической природе кратера Эльгыгытгын [Beliy, 1998].

С конца 90-х годов XX в. кратер Эльгыгытгын является объектом интенсивных международных исследований, в которых принимали участие ученые из Венского университета (Австрия), Аляскинского и Мессачутетского университетов (США), Берлинского университета Гумбольдта и Института Альфреда Вегенера в Потсдаме (ФРГ), Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института РАН и некоторых других организаций. Важной вехой в изучении кратера явилось бурение в 2009 г. со льда оз. Эльгыгытгын скважины глубиной 513 м по программе International Continental Scientific Drilling Program, проведенное под руководством проф. С. Koeberl из Венского университета [Koeberl et al., 2013]. Итогом исследований керна скважины явилась публикация отдельного выпуска журнала “Meteoritics & Planetary Science”, т. 48, № 7 [Meteoritics & Planetary Science..., 2013], в котором все 12 статей посвящены различным аспектам изучения кратера Эльгыгытгын с вступительным посвящением выпуска Е.П. Гурову за его вклад в открытие и изучение этой структуры. Последнее наше достижение в изучении кратера – открытие остатков флоры в ударнорасплавленных породах (рис. 3), что является первой находкой сохранившихся растительных остатков в ударнорасплавленных породах в конкретном метеоритном кратере.

Впервые на поверхности Земли остатки флоры, сохранившейся и законсервированной в образцах ударнорасплавленных пород, были обнаружены и описаны в работе [Schultz et al., 2014]. Содержащие флору образцы расплавных импактитов распространены в составе семи слоев в лессовых отложениях в Аргентине, образовавшихся в интервале от 9,2 млн лет до 6 тыс. лет, причем метеоритные кратеры – источники этих пород – до настоящего времени не установлены ни для одного из слоев, содержащих обломки импактитов с флорой. Согласно представлениям этих ученых, расплавные импактиты могут служить объектами надежной консервации и транспортировки следов древней жизни на Земле и за ее пределами. Авторы работы указывают на перспективность изучения ударнорасплавленных пород на Марсе и других телах Солнечной системы для поисков следов древней биологической активности [Schultz et al., 2014]. Изучение Марсианского метеорита Тиссинт (падение 2011 года в Марокко) позволило его исследователям предполагать *биологическое*

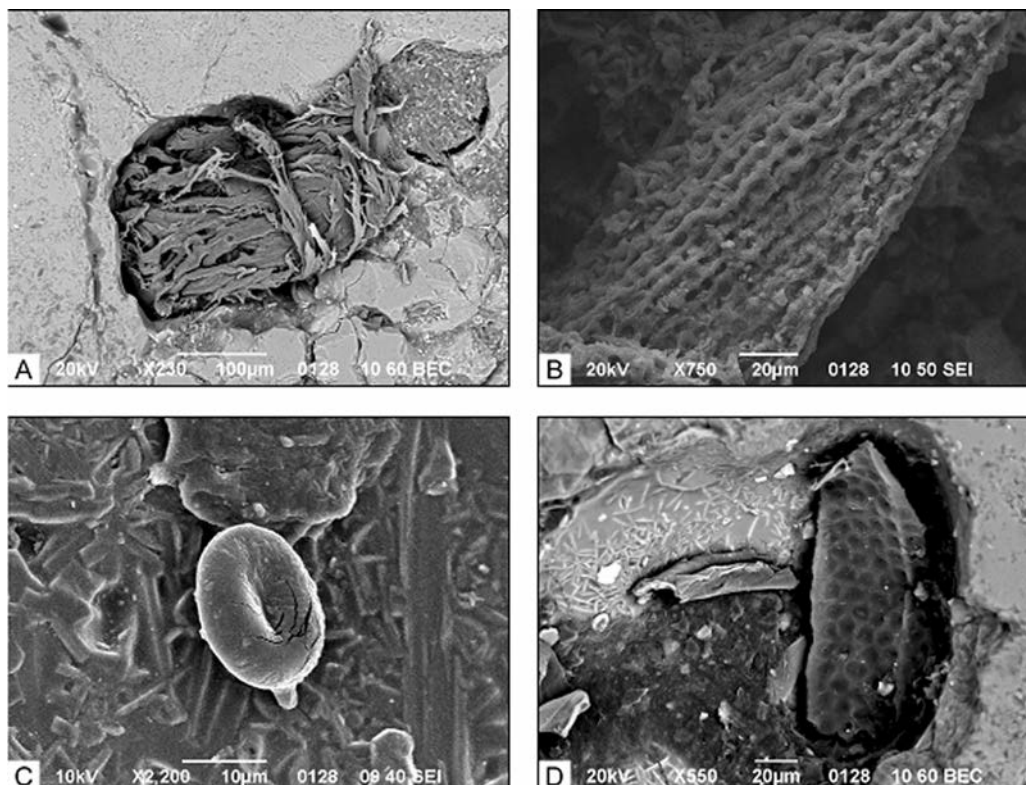


Рис. 3. Электронномикроскопические снимки растительных остатков, заключенные в пузырьках ударнорасплавленных пород кратера Эльгыгытгын: А – обрывки травянистой растительности в пузырьке в стекловатой матрице; В – частица клеточной ткани; С – спора на внутренней поверхности пузырька; D – частицы растительности в пузырьке

Fig. 3. BSE images of floristic remnants encapsulated in vesicles of impact melt rocks of the El'gygytyn crater: A – scraps of grassy vegetation inside the vesicle in glassy matrix; B – a particle of plant tissue; C – spore on the inner surface of vesicle; D – particles of vegetation in the vesicle

происхождение содержащихся в метеорите органических веществ, включенных в прожилки ударнорасплавленных пород [Lin et al., 2014].

На поверхности Земли большинство импактных структур расположено на территории древних щитов и платформ. В связи с отсутствием данных о возможном распространении кратеров на Алданском щите сотрудниками ИГН АН УССР в течение 1980–1985 гг. были проведены экспедиционные работы в этом регионе, выполненные по договору с Якутским Геологическим управлением МГ СССР. В этих работах, кроме автора настоящей статьи, принимали участие Е.П. Гурова, Р.Б. Ракицкая, В.В. Ефименко, А.И. Серебренников, А.Ю. Ямниченко и В.И. Монастырецкий. Была открыта группа метеоритных кратеров Мача [Гуров и др., 1987; Gurov, Gurova, 1998], а также описаны недостаточно изученные вероятные импактные структуры Кограм и Чульман [Гуров и др., 1983; Гуров, Гурова, 1985].

Группа кратеров Мача в западной части Алданского щита была обнаружена нами при

аэровизуальных наблюдениях при поисках импактных структур в регионе, а наземные исследования позволили доказать их метеоритное происхождение [Гуров и др., 1987]. Группа состоит из пяти частично заполненных водой кратеров диаметром от 60 до 300 м. Два наиболее крупных кратера образуют заполненную озером двойную воронку. В составе пород насыпных валов кратеров встречаются обломки обугленной древесины, возраст которой по данным радиоуглеродного метода составляет 7300 лет. Из материала выбросов были выделены частицы метеоритного железа миллиметровой размерности [Гуров и др., 1987; Gurov, Gurova, 1998]. Кратеры Мача до настоящего времени остаются единственными доказанными импактными структурами, установленными на Алданском щите [Earth Impact Database..., 2017].

В 1987 г. на Памире был диагностирован и изучен метеоритный кратер Каракуль, являющийся первой импактной структурой в Средней Азии [Gurov et al., 1993] (рис. 4). Основанием для предположения об его импактном генезисе

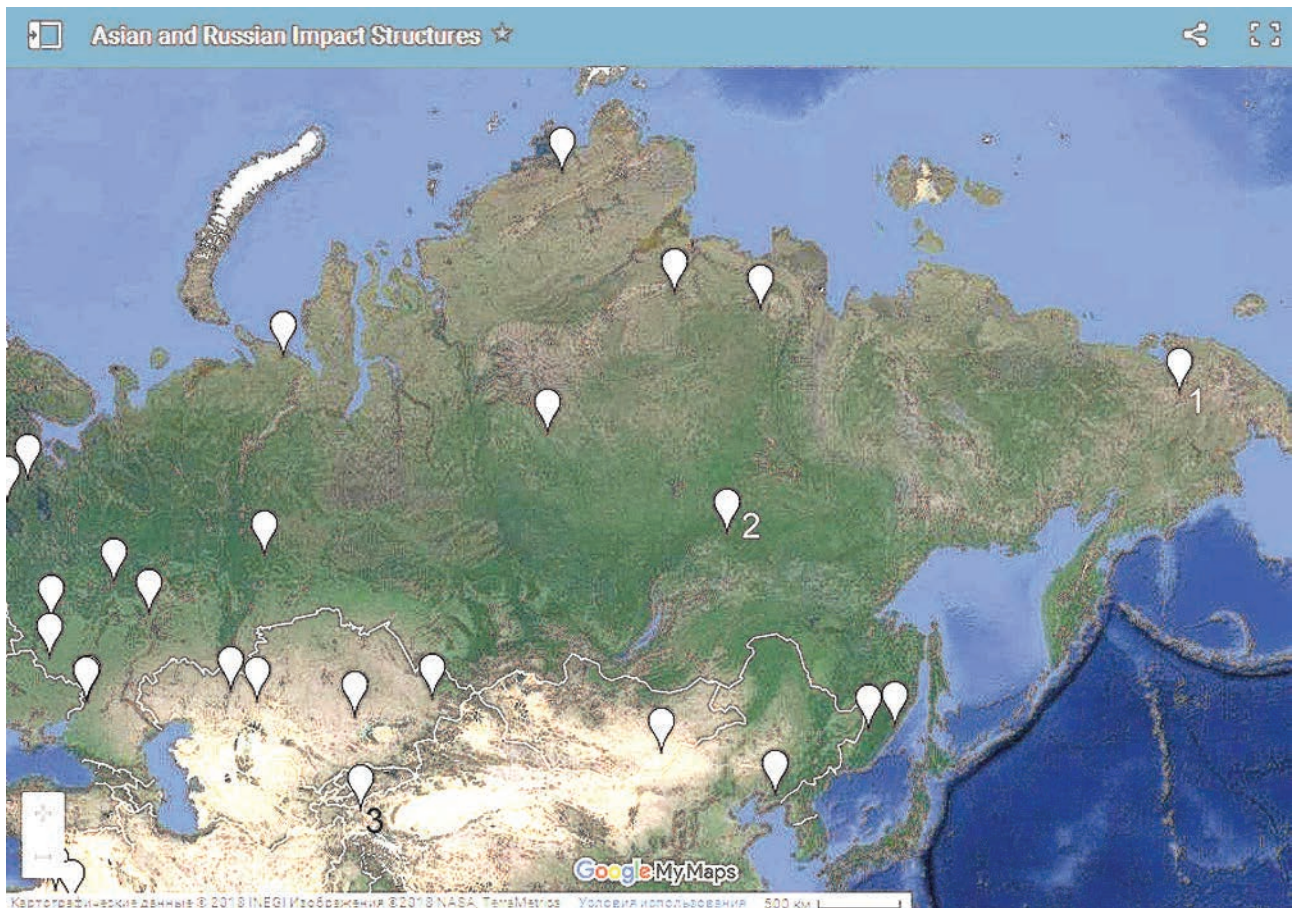


Рис. 4. Доказанные импактные структуры на территории Азии и России [Earth Impact Database, 2017]. Цифрами обозначены импактные структуры, установленные сотрудниками ИГН НАН Украины:

1 – кратер Эльгыгытгын на Чукотке; 2 – группа кратеров Мача в бассейне р. Лена в Якутии; 3 – кратер Кара-Куль на Памире

Fig. 4. Proven impact structures on the territory of Asia and [Earth Impact Database, 2017]. Impact structures, discovered by employees of Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, are numbered:

1 – El'gygytgyn crater, Chukotka; 2 – group of Macha craters in Lens river basin, Yakutia; 3 – Kara-Kul crater in Pamir

послужило изучение космических снимков занятой озером изометрической депрессии с морфологически выраженным поднятием в ее центральной части. Проведение экспедиционных работ во впадине оз. Каракуль сотрудниками ИГН АН УССР Е.П. Гуровым, Е.П. Гуровой, Р.Б. Ракицкой, А.Ю. Ямниченко, А.Ф. Хмельницким и В.И. Монастырецким в 1987 и 1989–1991 гг. позволило доказать ее импактное происхождение [Гуров, Гурова, 1993]. Интенсивная эрозия структуры в условиях высокогорного рельефа определила сложности доказательства ее ударного генезиса.

Одновременно с поисками новых метеоритных кратеров ученые ИГН НАН Украины продолжали изучение внутреннего строения и ударного метаморфизма пород сложных импактных структур. Детальное изучение Болтышской структуры позволило рассматривать ее как эталон

кратера с центральным поднятием в кристаллических породах [Гуров, Гурова, 1991; Gurov et al., 1995; Gurov, Gurova, 1985]. За развитие исследований по строению сложных импактных структур Е.П. Гурову, Е.П. Гуровой, Р.Б. Ракицкой, Т.М. Сокур и А.Ю. Ямниченко в 1995 г. был присужден грант Фонда Дж. Сороса.

В 1990-х – начале 2000-х годов Е.П. Гуров и Е.П. Гурова принимали участие в программе Европейского научного фонда по изучению импактного кратерообразования (Impact Science). Материалы докладов на конференциях были опубликованы в четырех сборниках программы [Gurov et al., 2002, 2003, 2006; Pesonen et al., 2004].

Установление образования гигантского кратера Чиксулуб в конце мелового периода и связанной с этим событием мел-палеогеновой катастрофы определило, с одной стороны, огромную

важность всестороннего изучения этой структуры, а с другой – показало роль крупномасштабных ударных событий в истории развития Земли и ее органического мира [The Cretaceous-Tertiary..., 1996; Catastrophic..., 2002]. В монографии Е.П. Гурова и П.Ф. Гожика «Импактное кратерообразование в истории Земли» (рис. 5) впервые в русскоязычной литературе приведен детальный обзор опубликованных за рубежом материалов по мел-палеогеновому ударному событию с характеристикой кратера Чиксулуб и описанием катастрофических последствий его образования, включая массовое вымирание биоты в конце мелового периода [Гуров, Гожик, 2006]. За серию работ, посвященных проблеме взаимодействия Земли с космическим веществом, Е.П. Гурову в 2010 г. была присуждена Премия НАН Украины им. П.А. Тутковского.



Рис. 5. Титульная страница монографии Е.П. Гурова и П.Ф. Гожика «Импактное кратерообразование в истории Земли» [Гуров, Гожик, 2006]. На снимке: заполненные водой кратеры Мача в Якутии

Fig. 5. Title page of the monograph of E.P. Gurov and P.F. Gozhik “Impact cratering in the history of the Earth” [Гуров, Гожик, 2006]. On the Photo: Macha craters in Yakutia, filled with water

С 1996 г. продолжается наше сотрудничество с Генеральным директором Венского Музея Натуральной Истории проф. С. Koeberl по изучению Ильинецкого и Болтышского кратеров УЩ, а также кратера Эльгыгытгын на Чукотке. Результаты совместных исследований опубликованы в зарубежных изданиях, в том числе [Gurov, Koeberl, 2004; Gurov et al., 1998, 2004, 2007]. Начиная с 2000 г. проводятся совместные работы с проф. S.P. Kelley из Открытого Университета в Великобритании по изучению Болтышской структуры, ее возраста и условий образования [Kelley, Gurov, 2003; Joley et al., 2010].

Заключение

Открытие Каменецкой структуры показало, что как на территории УЩ, так и в Украине в целом можно ожидать обнаружение новых импактных структур. В качестве вероятной структуры ударного происхождения рассматривается кольцевая фотоаномалия Алешковские Пески в нижнем течении р. Днепр [Гуров, Гожик, 2011] (рис. 1). Кратерообразная структура диаметром 1,2 км в бассейне р. Уда к юго-востоку от г. Харьков (ординаты центра: 49°49'40" с. ш., 36°25'38" в. д.) предварительно диагностирована как возможный метеоритный кратер Харьковский (рис. 1). Диагностика этих структур может быть осуществлена при проведении детальных геофизических исследований и бурении скважин.

Наши исследования импактных структур получили известность и признание в Украине и за рубежом. Все восемь достоверных импактных структур УЩ, а также кратер Эльгыгытгын на Чукотке, кратер Каракуль на Памире и группа кратеров Мача на Алданском щите внесены в международную базу данных по *достоверным* импактным структурам на поверхности Земли [Earth..., 2017].

К настоящему времени по проблеме изучения импактных структур УЩ и некоторых других регионов опубликовано несколько сотен работ как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Список опубликованных работ автора настоящей статьи насчитывает более 250 наименований, в том числе две монографии и более 30 работ в зарубежных изданиях. Поэтому в приведенный ниже список литературы включена только небольшая часть работ А.А. Вальтера, В.Л. Масайтиса, В.И. Фельдмана и автора, посвященных изучению импактных структур в Украине и в некоторых других регионах бывшего СССР.

Список литературы

- Вальтер А.А., Брянский В.П., Рябенко В.А., Лазаренко Е.Е.** О взрывной (метеоритной) природе Зеленогайской структуры на Украинском щите. *Докл. АН СССР*. 1976. Т. 229, № 1. С. 160–162.
- Вальтер А.А., Гуров Е.П., Рябенко В.А.** Обо-лонский метеоритный кратер на северо-восточном склоне Украинского щита. *Докл. АН СССР*. 1977. Т. 232, № 1. С. 170–173.
- Вальтер А.А., Гурский Д.С., Еременко Г.К., Бочко А.В.** Импактные алмазы – новый вид минерального сырья Украины. *Мінер. ресурси України*. 1999. № 3. С. 16–22.
- Вальтер А.А., Рябенко В.А.** Петрографические признаки ударнометеоритного происхождения Ильинецкой структуры (Винницкая область). *Геол. журн.* 1973. Т. 33, № 6 (153). С. 142–144.
- Вальтер А.А., Рябенко В.А.** Взрывные кратеры Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1977. 155 с.
- Голубев В.А., Карнов Г.М., Поповиченко В.А.** Про метеоритно-вибухове походження Бовтиської западини на Кіровоградщині. *Доп. АН УРСР. Сер. Б*. 1974. № 1. С. 10–13.
- Гуров Е.П., Вальтер А.А.** Выбросы Болтышского метеоритного кратера на Украинском щите. *Геол. журн.* 1977. Т. 37, № 6 (177). С. 79–84.
- Гуров Е.П., Вальтер А.А., Гурова Е.П., Серебренников А.И.** Взрывной метеоритный кратер Эльгыгытгын на Чукотке. *Докл. АН СССР*. 1978. Т. 240, № 6. С. 1407–1410.
- Гуров Е.П., Гожик П.Ф.** Импактное кратерообразование в истории Земли. Киев: ИГН НАН Украины, 2006. 216 с.
- Гуров Е.П., Гожик П.Ф.** Массив Алешковские Пески как возможная импактная структура. *Геол. журн.* 2011. № 2 (335). С. 7–11.
- Гуров Е.П., Гожик П.Ф.** Болтышская импактная структура и мел-палеогеновый рубеж. *Геол. журн.* 2015. № 3 (352). С. 7–16.
- Гуров Е.П., Гожик П.Ф., Гладун В.В., Багрий И.Д.** Сравнительная характеристика Обо-лонского кратера на Украинском щите и нефтегазоносной импактной структуры Эймс на Канадском щите. *Геол. журн.* 2011. № 1 (334). С. 14–20.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П.** Стадии ударного метаморфизма вулканогенных пород кислого состава на примере метеоритного кратера Эльгыгытгын (Чукотка). *Докл. АН СССР*. 1979. Т. 249, № 5. С. 1197–1201.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П.** Поиски кратеров на Сибирской платформе. *Метеоритика*. 1985. № 44. С. 154–158.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П.** Геологическое строение и вещественный состав пород импактных структур. Киев: Наук. думка, 1991. 160 с.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П.** Каракульская впадина на Памире – достоверная импактная структура. *Геол. журн.* 1993. № 6 (273). С. 53–63.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П., Котловская Ф.И.** Кольцевая структура Кограм на Алданском щите как вероятная эродированная астроблема. *Метеоритика*. 1983. № 42. С. 65–71.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П., Ковалюх Н.Н.** Группа молодых кратеров Мача в Западной Якутии. *Докл. АН СССР*. 1987. Т. 269, № 1. С. 185–188.
- Гуров Е.П., Гурова Е.П., Ракицкая Р.Б., Ямниченко А.Ю.** Расплавные импактиты Обо-лонской астроблемы. *Доп. НАН України*. 1995. № 8. С. 81–83.
- Гуров Е.П., Климовский С.И., Ямниченко А.Ю.** Зювиты Ильинецкой импактной структуры. *Геол. журн.* 2006. № 4 (317). С. 105–116.
- Гуров Е.П., Мельничук Э.А., Металиди С.В., Рябенко В.А., Гурова Е.П.** Особенности геологического строения эродированной астроблемы в западной части Украинского щита. *Доп. АН УРСР. Сер. Б*. 1985. № 9–12.
- Гуров Е.П., Николаенко Н.Ф., Шевчук Е.А., Ямниченко А.Ю.** Каменецкая импактная структура на Украинском щите. *Доп. НАН України*. 2018. № 1. С. 53–59.
- 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. 19–24.
- Дабижка А.И., Фельдман В.И.** Геофизическая характеристика некоторых астроблем СССР. *Метеоритика*. 1982. № 40. С. 91–102.
- Краюшкин В.А., Гуров Е.П.** К перспективе поисков нефти и газа в астроблемах Украины. *Геол. журн.* 1989. № 1 (244). С. 17–27.
- Масайтис В.Л.** Геологические последствия падений кратерообразующих метеоритов. Ленинград: Недра, 1973. 17 с.
- Масайтис В.Л.** Некоторые древние метеоритные кратеры на территории СССР. *Метеоритика*. 1974. № 33. С. 64–68.
- Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Карнов Г.М., Райхлин А.И.** Карлинская, Обо-лонская и Ротмистровская астроблемы в Европейской части СССР. *Докл. АН СССР*. 1976. Т. 230, № 1. С. 174–177.
- Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Мащак М.С., Райхлин А.И., Селивановская Т.В., Шаденков Е.М.** Геология астроблем. Ленинград: Недра, 1980. 231 с.
- Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановская Т.В.** Попигайская котловина – взрывной метеоритный кратер. *Докл. АН СССР*. 1971. № 6. С. 1390–1393.

- Масайтис В.Л., Футергендлер С.И., Гневушев М.А.** Алмазы в импактитах Попигайского метеоритного кратера. *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва*. 1972. Т. 1, вып. 2. С. 204–208.
- Некрасов И.А., Раудонис П.А.** Метеоритные кратеры. *Природа*. 1963. № 1. С. 102–104.
- Никольский А.П., Наумов В.П., Мащак М.С., Масайтис В.Л.** Ударно-метаморфизованные породы и импактиты Терновской астроблемы (Северное Криворожье). *Проблемы регионального и ударного метаморфизма*. Ленинград: ВСЕГЕИ, 1982. Т. 238. С. 132–142.
- Романюк П.М., Василенко Є.С., Корнієнко А.І., Ніколаєнко М.А.** Кам'янецька структура – нова палеовулканічна споруда на Українському щиті: результати попереднього вивчення та порівняльна характеристика. *Зб. наук. пр. УкрДГПІ*. 2006. № . 32–45.
- Фельдман В.И., Грановский Л.Б., Капусткина И.Г., Каротеева Н.Н., Сазонова Л.В., Дабижка А.И.** Метеоритный кратер Эльгыгытгын. *Импактиты: Маракушев А.А. (ред.)*. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1981. С. 70–92.
- Юрк Ю.Ю., Еременко Г.К., Полканов Ю.А.** Болтышская котловина – ископаемый метеоритный кратер. *Сов. геология*. 1975. № 2. С. 138–144.
- Beliy V.F.** Impactogenesis and volcanism of the El'gygytyn depression. *J. Petrology*. 1998. Vol. 6. P. 86–99.
- Catastrophic events and mass extinctions: impacts and beyond.** Eds. C. Koederl, K.G. MacLeod. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 2002. Vol. 356. 732 p.
- Dietz R.S., McHone J.F.** El'gygytyn: probable world largest meteorite crater. *Geology*. 1976. Vol. 4. P. 391–392.
- Earth Impact Database.** 2017. <http://www.passc.net>.
- Google Maps.** 2018. <http://www.google.com.br/maps>.
- Grieve R.A.F., Masaitis V.L.** The economic potential of terrestrial impact craters. *Intern. Geol. Revue*. 1994. Vol. 36. P. 105–151.
- Grieve R.A.F., Reni G., Gurov E.P., Ryabenko V.A.** The melt rocks of the Boltysch impact crater, Ukraine, USSR. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1987. Vol. 96. P. 56–62.
- Gurov E.P., Gurova E.P.** Boltysch astrobleme: impact crater pattern with a central uplift. *Lunar and Planetary Science Conference (abstracts)*. 1985. Vol. 16. P. 310–311.
- Gurov E.P., Gurova E.P.** The group of Macha craters in western Yakutia. *Planet. Space Science*. 1998. Vol. 30, № 2–3. P. 323–328.
- Gurov E.P., Gurova E.P., Chernenko Y.A., Yamnichenko A.Y.** The Obolon impact structure, Ukraine, and its ejecta deposits. *Meteoritics & Planetary Science*. 2009. Vol. 44, № 3. P. 389–404.
- Gurov E.P., Gurova E.P., Rakitskaya R.B.** Impact diamonds in the craters of the Ukrainian shield. *Meteoritics*. 1995. Vol. 30, № 5. P. 515–516.
- Gurov E.P., Gurova E.P., Rakitskaya R.B., Yamnichenko A. Y.** The Karakul Depression in Pamirs – the first impact structure in the Central Asia. *Lunar and Planetary Sciences Conference (abstracts)*. 1993. Vol. 24. P. 591–592.
- Gurov E.P., Gurova E.P., Sokur T.M.** Geology and Petrography of the Zapadnaya Impact Crater in the Ukrainian Shield. *Impacts in Precambrian Shields*. Eds. J. Plado, L.J. Pesonen. Berlin: Springer, 2002. P. 170–188.
- Gurov E.P., Gurova E.P., Yamnichenko A.Y.** Structure of complex impact craters. *Геол. журн.* 1995. № 1 (278). С. 22–25.
- Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C.** Ejecta of the Boltysch impact crater in the Ukrainian Sheild. *Impact Markers in the Stratigraphic Record*. Eds. C. Koeberl, F.C. Mortinez-Ruiz. Berlin: Springer, 2003. P. 179–202.
- Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C., Dykan N.** Sediments and impact rock filling the Boltysch impact crater. *Geological processes associated with impact event*. Eds. C. Cockel, C. Koeberl, Gilmour. Berlin: Springer, 2006. P. 335–353.
- Gurov E.P., Koeberl C.** Shocked rocks and impact glasses from the El'gygytyn impact structure, Russia. *Meteoritics & Planetary Science*. 2004. Vol. 39. P. 1495–1508.
- Gurov E.P., Koeberl C., Reimold W.U.** Petrology and geochemistry of target rocks and impactites from the Ilyinets crater, Ukraine. *Meteoritics & Planetary Science*. 1998. Vol. 33. P. 1317–1333.
- Gurov E.P., Koeberl C., Reimold W.U., Brandstätter F., Amare K.** Shock metamorphism of siliceous volcanic rocks of the El'gygytyn impact crater (Chukotka, Russia). *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 2005. Vol. 384. P. 391–412.
- Gurov E.P., Koeberl C., Yamnichenko A.Y.** El'gygytyn crater, Russia: structure, tectonics, and morphology. *Meteoritics & Planetary Science*. 2007. Vol. 42. P. 307–319.
- Gurov E.P., Nikolaenko N.A., Shevchuk E.A., Yamnichenko A.Yu.** Kamenetsk – a new impact structure in the Ukrainian Shield. *Meteoritics & Planetary Science*. 2017. Vol. 51. P. 2461–2469.
- Gurov E.P., Ryabenko V.A.** Excursion 098: Impact structures of the Ukrainian Shield. *International Geological Congress, XXVII Session. Ukrainian Soviet Socialist Republic. Consolidated Guidebook*. Kiev: Naukova Dumka, 1984. P. 143–159.
- Gurov E.P., Schekhunova S.B., Permyakov V. V.** Accessory and opaque minerals in impact melt rocks of the Boltysch impact structure, Ukraine. *Meteoritics & Planetary Science*. 2015. Vol. 50, No 6. P. 1139–1155.
- Gurov E.P., Valter A.A., Gurova E.P., Kotlovskaya F.I.** El'gygytyn impact crater, Chukotka: shock metamorphism of volcanic rocks. *Lunar and Planetary Science (abstracts)*. 1979. Vol. 10. P. 479–481.
- Jolley D., Gilmour I., Gurov E., Kelley S., Watson J.** Two large meteorite impacts at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Geology*. 2010. Vol. 38. P. 835–838.

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

Kelley S.P., Gurov E.P. Boltysh, another end-Cretaceous impact. *Meteoritics & Planetary Sciences*. 2002. Vol. 37. P. 1031–1043.

Koeberl C. *Impakt. Gefahr aus dem All. Das Ende unserer Zivilisation.* Wien: Va Bene, 1998. 184 p.

Koeberl C., Pitarello L., Reimold W.U., Raschke U., Brigham-Grette J., Melles M., Minyuk P. El'gygytgyn impact crater, Chukotka, Arctic Russia: Impact cratering aspects of the 2009 ICDP drilling project. *Meteoritics & Planetary Science*. 2013. Vol. 48, № 7. P. 1108–1129.

Lin Y., El Goresi A., Hu S., Zhang J., Gillet P., Xu Y., Hao J., Miyahara M., Ouyang Z., Ohtani E., Xu L., Yang W., Feng L. NanoSIMS analysis of organic carbon from the Tissint Martian meteorite: Evidence for the past existence of subsurface organic-bearing fluids on Mars. *Meteoritics & Planetary Science*. 2014. Vol. 49. P. 2201–2218.

Meteoritics & Planetary Science. 2013. Vol. 48. P. 1106–1358.

References

Beliy V.F., 1998. Impactogenesis and volcanism of the El'gygytgyn depression. *J. Petrology*, vol. 6, p. 86–99 (in English).

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

Dabizha A.I., Feldman V.I., 1982. Geophysical characteristics of some astroblemes of the USSR. *Meteoritika*, № 40, p. 91–102 (in Russian).

Dietz R.S., McHone J.F., 1976. El'gygytgyn: probable world largest meteorite crater. *Geology*, vol. 4, p. 391–392 (in English).

Earth Impact Database, 2017. <http://www.passc.net> (in English).

Feldman V.P., Granovsky L.B., Kapustkina I.G., Karoteeva N.N., Sazonova L.V., Dabizha A.I. 1981. Meteorite crater El'gygytgyn. Impactites. Editor A.A. Marakhushev. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, p. 70–92 (in Russian).

Golubev V.A., Karpov G.M., Popovichenko V.A., 1974. About meteorite-explosive origin of the Boltysh depression in the region. *Dopovidi Akademii Nauk UkrSSR. Seriya B*, № 1, p. 10–13 (in Ukrainian).

Google Maps, 2018. <https://www.google.com.br/maps> (in English).

Grieve R.A.F., Masaitis V.L., 1994. The economic potential of terrestrial impact craters. *Intern. Geol. Revue*, vol. 36, p. 105–151 (in English).

Grieve R.A.F., Reni G., Gurov E.P., Ryabenko V.A., 1987. The melt rocks of the Boltysh impact crater, Ukraine, USSR. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, vol. 96, p. 56–62 (in English).

Pesonen L.J., Mader D., Gurov E.P., Koeberl C., Kinnunen K.A., Donadini F., Handler R. Paleomagnetism and ³⁹Ar-⁴⁰Ar Age Determinations of Impactites from the Ilyinets Impact Structure, Ukraine. *Cratering in Marine Environments and on Ice*. Eds. H. Dypvik, M. Burchell, P. Claeys. Berlin: Springer, 2004. P. 253–280.

Schultz P.H., Harris R.S., Clemett S.J., Thomas-Keptra K.L., and Zárata M. Preserved flora and organics in impact melt breccias. *Geology*. 2014. Vol. 42. P. 515–518.

The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. Eds. G. Ryder, D. Fastovsky, S. Gartner. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 1996. Boulder, Colorado. Vol. 307. 530 p.

Valter A.A., Moseychuk M.A., Kalashnik A.A. The new interpretation of structure of Zeleny Gay astrobleme on Ukrainian Shield. *Vernadsky Institute – Microsymposium* 26, October 13–17. Moscow, 1997. P. 127–128.

Valter A., Plotnikova L. Biostratigraphic indications of the age of the Boltysh impact crater, Ukraine. *Impact markers in the Stratigraphic record*. Eds. C. Koeberl, F. Martinez-Ruiz. Berlin: Springer, 2003. P. 163–178.

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

Gurov E.P., Gozhik P.F., 2011. The Massive Aleshkovskie Pesky as a possible impact structure. *Geologichnyy zhurnal*, № 2 (335), p. 7–11 (in Russian).

Gurov E.P., Gozhik P.F., 2015. Boltysh impact crater and the cretaceous-tertiary boundary. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (352), p. 7–16 (in Russian).

Gurov E.P., Gozhik P.F., Gladun V.V., Bagriy I.D., 2011. Comparative characteristics of the Obolon crater on the Ukrainian Shield and oil- and gasbearing impact structure on the Ukraine, USSR. *Geologichnyy zhurnal*, № 1 (334), p. 14–20 (in Russian).

Gurov E.P., Gurova E.P., Kotlovskaya F.I., 1983. Annular structure Koghran on the Aldanian Shield as a probable eroded astrobleme. *Meteoritika*, № 42, p. 65–71 (in Russian).

Gurov E.P., Gurova E.P. 1985., Boltysh astrobleme: impact crater pattern with a central uplift. *Lunar and Planetary Science Conference* (abstracts), vol. 16, p. 310–311 (in English).

Gurov E.P., Gurova E.P. 1998., The group of Macha craters in western Yakutia. *Planet. Space Science*, vol. 30, № 2–3, p. 323–328 (in English).

Gurov E.P., Gurova E.P., 1979. Stages of shock metamorphism of volcanic rocks of acid composition on example of the El'gygytgyn crater (Chukotka). *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 249, № 5, p. 1197–1201 (in Russian).

- Gurov E.P., Gurova E.P.**, 1985. Search of craters on the Siberian platform. *Meteoritika*, № 44, p. 154–158 (in Russian).
- Gurov E.P., Gurova E.P.**, 1991. Geological structure and rock composition of impact structures. Kiev: Naukova Dumka, 160 p. (in Russian).
- Gurov E.P., Gurova E.P.**, 1993. Karakul depression on the Pamirs – a reliable impact structure. *Geologichnyy zhurnal*, № 6 (273), p. 53–63 (in Russian).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Chernenko Y.A., Yamnichenko A.Y.**, 2009. The Obolon impact structure, Ukraine, and its ejecta deposits. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 44, № 3, p. 389–404 (in English).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Kovaliuch N.N.** 1987. Group of young craters Macha in Western Yakutia. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 269, № 1, p. 185–188 (in Russian).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Rakitskaya R.B.**, 1995. Impact diamonds in the craters of the Ukrainian shield. *Meteoritics*, vol. 30, № 5, p. 515–516 (in English).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Rakitskaya R.B., Yamnichenko A.Y.**, 1993. The Karakul Depression in Pamirs – the first impact structure in the first impact structure in the Central Asia. *Lunar and Planetary Sciences Conference* (abstracts), vol. 24, p. 591–592 (in English).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Rakitskaya R.B., Yamnichenko A.Y.**, 1995. Impact melt rocks of the Obolon astrobleme. *Dopovidi Ukrainy*, № 8, p. 81–83 (in Russian).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Sokur T.M.**, 2002. Geology and Petrography of the Zapadnaya Impact Crater in the Ukrainian Shield. *Impacts in Precambrian Shields*. Eds. J. Plado, L.J. Berlin: Springer, p. 170–188 (in English).
- Gurov E.P., Gurova E.P., Yamnichenko A.Y.**, 1995. Structure of complex impact craters. *Geologicheskyy zhurnal*, № 1 (278), p. 22–25 (in English).
- Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C., Dykan N.**, 2006. Sediments and impact rock filling the Boltysch impact crater. In: *Geological processes associated with impact event*. Eds. C. Cockel, C. Koeberl, Gilmour. Berlin: Springer, p. 335–53 (in English).
- Gurov E.P., Kelley S.P., Koeberl C.**, 2003. Ejecta of the Boltysch impact crater in the Ukrainian Sheild. *Impact Markers in the Stratigraphic Record*. Eds. C. Koeberl, F.C. Mortinez-Ruiz. Berlin: Springer, p. 179–202 (in English).
- Gurov E.P., A.F.**, 1996. Distribution and preservation of the ejecta from the impact structures by example of the Boltysch and Acraman craters. *Astronomicheskyy vestnik*, vol. 30, p. 19–24 (in Russian).
- Gurov E.P., Klimovsky S.I., Yamnichenko A.Y.**, 2006. Suevites of the Ilyinets impact structure. *Geologichnyy zhurnal*, № 4 (317), p. 105–116 (in Russian).
- Gurov E.P., Koeberl C.**, 2004. Shocked rocks and impact glasses from the El'gygytgyn impact structure, Russia. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 39, p. 1495–1508 (in English).
- Gurov E.P., Koeberl C., Reimold W.U.**, 1998. Petrology and geochemistry of target rocks and impactites from the Ilyinets crater, Ukraine. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 33, p. 1317–1333 (in English).
- Gurov E.P., Koeberl C., Reimold W.U., Brandstätter F., Amare K.**, 2005. Shock metamorphism of siliceous volcanic rocks of the El'gygytgyn impact crater (Chukotka, Russia). *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, vol. 384, p. 391–412 (in English).
- Gurov E.P., Koeberl C., Yamnichenko A.Y.**, 2007. El'gygytgyn crater, Russia: structure, tectonics, and morphology. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 42, p. 307–319 (in English).
- Gurov E.P., Melnichuk E.A., Metalidi S.V., Ryabenko V.A., Gurova E.P.**, 1985. Features of structure of the eroded astrobleme in the western part of the Ukrainian Shield. *Dopovidi Akademii Nauk UkrSSR. Seriya B*, № 1, p. 9–12 (in Russian).
- Gurov E.P., Nikolaenko N.A., Shevchuk E.A., Yamnichenko A.Y.**, 2018. Kamenetsk impact structure in the Ukrainian Shield. *Dopovidi NAN Ukrainy*, № 1, p. 53–59 (in Russian).
- Gurov E.P., Nikolaenko N.A., Shevchuk E.A., Yamnichenko A.Yu.**, 2017. Kamenetsk – a new impact structure in the Ukrainian Shield. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 51, p. 2461–2469 (in English).
- Gurov E.P., Ryabenko V.A.**, 1984. Excursion 098: Impact structures of the Ukrainian Shield. *International Geological Congress XXVII. Ukrainian Soviet Socialist Republic. Consolidated Guidebook*. Kiev: Naukova Dumka, p. 143–159 (in English).
- Gurov E.P., Schekhunova S.B., Permyakov V. V.**, 2015. Accessory and opaque minerals in impact melt rocks of the Boltysch impact structure, Ukraine. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 50, No 6, p. 1139–1155 (in English).
- Gurov E.P., Val'ter A.A.**, 1977. Ejecta of the Boltysch impact structure in the Ukrainian Shield. *Geologicheskyy zhurnal*, vol. 37, № 6 (177), p. 79–84 (in Russian).
- Gurov E.P., Val'ter A.A., Gurova E.P., Serebrennikov A.I.**, 1978. Impact meteorite crater El'gygytgyn in Chukotka. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 240, № 6, p. 1407–1410 (in Russian).
- Gurov E.P., Valter A.A., Gurova E.P., Kotlovskaya F.I.**, 1979. El'gygytgyn impact crater, Chukotka: shock metamorphism of volcanic rocks. *Lunar and Planetary Science* (abstracts), vol. 10, p. 479–481 (in English).
- Jolley D., Gilmour I., Gurov E., Kelley S., Watson J.**, 2010. Two large meteorite impacts at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Geology*, vol. 38, p. 835–838 (in English).
- Jourdan F., Reimold W.U., Deutsch A.**, 2012. Dating Terrestrial impact structures. *Elements*, vol. 8, p. 49–53 (in English).

- Kelley S.P., Gurov E.P.**, 2002. Boltys, another end-Cretaceous impact. *Meteoritics & Planetary Sciences*, vol. 37, p. 1031–1043 (in English).
- Koeberl C.**, 1998. Impakt. Gefahr aus dem All. Das Ende unserer Zivilisation. Wien: Va Bene. 184 p. (in German).
- Koeberl C., Pitarello L., Reimold W.U., Raschke U., Brigham-Grette J., Melles M., Minyuk P.**, 2013. El'gy-gytyn impact crater, Chukotka, Arctic Russia: Impact cratering aspects of the 2009 ICDP drilling project. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 48, № 7, p. 1108–1129 (in English).
- Krayuschkin V.A., Gurov E.P.**, 1989. To the perspectives of search of oil and gas in astroblemes of Ukraine. *Geologichnyy zhurnal*, № 1 (244), p. 17–27 (in Russian).
- Lin Y., El Goresi A., Hu S., Zhang J., Gillet P., Xu Y., Hao J., Miyahara M., Ouyang Z., Ohtani E., Xu L., Yang W., Feng L.**, 2014. NanoSIMS analysis of organic carbon from the Tissint Martian meteorite: Evidence for the past existence of subsurface organic-bearing fluids on Mars. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 49, p. 2201–2218 (in English).
- Masaitis V.L.**, 1974. Some ancient meteorite craters on the territory of the USSR. *Meteoritika*, № 33, p. 64–68 (in Russian).
- Masaitis V.L.**, 1973. Geological consequences of fall of the crater-forming meteorites. Leningrad: Nedra, 17 p. (in Russian).
- Masaitis V.L., Danilin A.N., Karpov G.M., Raichlin A.I.**, 1976. Karlinskaya, Obolonskaya and Rotmistrovskaya astroblemes in the European part of the SSSR. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 230, № 1, p. 174–177 (in Russian).
- Masaitis V.L., Danilin A.N., Mashchak M.S., Raichlin A.I., Selivanovskaya T.V., Schadenkov E.M.**, 1980. Geology of astroblemes. Leningrad: Nedra, 231 p. (in Russian).
- Masaitis V.L., Futergendler C.I., Gnevushev M.A.**, 1972. Diamonds in impactites of the Popigai meteorite crater. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, vol. 1, iss. 2, p. 204–208 (in Russian).
- Masaitis V.L., Michailov M.V., Selivanovskaya T.V.**, 1971. Popigayskaya basin – explosive meteorite crater. *Doklady AN SSSR*, № 6, p. 1390–1393 (in Russian).
- Meteoritics & Planetary Science*. 2013. Vol. 48. P. 1106–1358 (in English).
- Nekrasov I.A., Raudonis P.A.**, 1963. Meteorite craters. *Priroda*, № 1, p. 102–104 (in Russian).
- Nikolsky A.P., Naumov V.P., Mashchak M.C., Masainis V.L.**, 1982. Shock-metamorphosed rocks and impactites of the Ternovskaya astrobleme (Northern Krivoro-zhie). In: *Problems of regional and shock metamorphism*. Leningrad: VSEGEI, vol. 238, p. 132–142 (in Russian).
- Pesonen L.J., Mader D., Gurov E.P., Koeberl C., Kinnunen K.A., Donadini F., Handler R.**, 2004. Paleomagnetism and ^{39}Ar - ^{40}Ar Age Determinations of Impactites from the Ilyinets Impact Structure, Ukraine. In: *Cratering in Marine Environments and on Ice*. Eds. H. Dypvik, M. Burchell, P. Claeys. Berlin: Springer, P. 253–280 (in English).
- Romaniuk P.A., Vasilenko E.C., Kornienko A.I., and Nikolaienko N.A.**, 2006. Kamenetskaya structure – a new paleovolcanic edifice on the Ukrainian Shield: results of preliminary study and comparative characteristic. *Zbirnik naukovykh prats UkrDGRI*, No 2, p. 32–45 (in Ukrainian).
- Schultz P.H., Harris R.S., Clemett S.J., Thomas-Keprta K.L., and Zárate M.**, 2014. Preserved flora and organics in impact melt breccias. *Geology*, vol. 42, p. 515–518 (in English).
- The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History.*, 1996. Eds. G. Ryder, D. Fastovsky, S. Gartner. *Geol. Soc. Amer. Spec Paper*. Boulder, Colorado, vol. 307, 530 p. (in English).
- Valter A., Plotnikova L.**, 2003. Biostratigraphic indications of the age of the Boltys impact crater, Ukraine. In: *Impact markers in the Stratigraphic record*. Eds. C. Koeberl, F. Martinez-Ruiz. Berlin: Springer, p. 163–178 (in English).
- Valter A.A., Bryansky V.P., Ryabenko V.F., Lasarenko E.E.**, 1976. About explosive (meteoritic) nature of the Zeleny Gay structure in the Ukrainian Shield. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 229, № 1, p. 160–162 (in Russian).
- Valter A.A., Gurov E.P., Ryabenko V.A.**, 1977. The Obolon meteorite crater on the northeastern slope of the Ukrainian Shield. *Doclady Akademii Nauk SSSR*, vol. 232, № 1, p. 170–173 (in Russian).
- Valter A.A., Gursky D.S., Eremenko G.K., Bochko A.V.**, 1999. Impact diamonds – a new type of the mineral products of Ukraine. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 3, p. 16–22 (in Russian).
- Valter A.A., Moseychuk M.A., Kalashnik A.A.**, 1997. The new interpretation of structure of Zeleny Gay astrobleme on Ukrainian Shield. *Vernadsky Institute – Microsymposium 26*, October 13–17. Moscow, p. 127–128 (in English).
- Valter A.A., Ryabenko V.A.**, 1973. Petrographic evidences of impact-meteoritic origin of the Ilyinets structure (Vinnytsia region). *Geologicheskyy zhurnal*, vol. 33, № 6 (153), p. 142–144 (in Russian).
- Valter A.A., Ryabenko V.A.**, 1977. Explosive craters of the Ukrainian Shield. Kiev: Naukova Dumka, 155 p. (in Russian).
- Yurk Y.Y., Eremenko G.K., Polkanov Y.A.**, 1975. The Boltys depression – a fossil meteorite crater. *Sovetskaya Geologiya*, № 2, p. 138–144 (in Russian).

Статья поступила
23.07.2018