



ISSN 1607–2855

Том 7 • № 2 • 2011 С. 277 – 284

УДК 523.681

## Астрооблемы: темпы открытия, пространственно-возрастное распределение, Ильинецкий пример

А.А. Вальтер

Институт прикладной физики НАН Украины

*Количество известных в мире астрооблем определено как 178. Даны темпы открытия астрооблем. На основании астрооблемной статистики резерв относительно легко открываемых астрооблем определён в  $N = (290 \pm 30)$  ( $D > 1$  км) и  $N \geq 10^3$  ( $100 \text{ м} < D < 1$  км). Дан новый вариант геологической карты Ильинецкой астрооблемы и приведены данные об археологической находке на обнажении зювитов.*

*АСТРОБЛЕМИ: ТЕМПИ ВІДКРИТТЯ, ПРОСТОРОВО-ВІКОВИЙ РОЗПОДІЛ, ІЛЛІНЕЦЬКИЙ ПРИКЛАД, Вальтер А.А. — Кількість відомих в світі астрооблем визначена як 178. Визначені темпи відкриття астрооблем. На базі астрооблемної статистики резерв астрооблем, що відносно легко можуть бути відкриті, визначений як  $N = (290 \pm 30)$  ( $D > 1$  км) та  $N \geq 10^3$  ( $100 \text{ м} < D < 1$  км). Подано новий варіант геологічної карти Іллінецької астрооблеми та наведено дані про археологічну знахідку на відслоненні зювітів.*

*ASTROBLEMES: THE RATE OF DISCOVERY, SPACE AND AGE DISTRIBUTION, AN EXAMPLE OF ILLINTSY, by Valter A.A. — The number of astroblemes over the world is estimated as 178. The rate of astroblemes discovery are done. By the analysis of astroblemes statistics the reserves of relatively easy determined astroblemes are predicted. That are  $N = (290 \pm 30)$  ( $D > 1$  km) and  $N \geq 10^3$  ( $100 \text{ m} < D < 1$  km). The modern geological map of Illintsy astrobleme and a new archeological finding on the suevites outcrop is given.*

**Ключевые слова:** астрооблема; Ильинецкая астрооблема.

**Key words:** astrobleme; Illintsy astrobleme.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В 2010 г. исполняется 47 лет со времени введения Р.Дитцем в научную терминологию поэтического термина астрооблемы — звездные раны.

Под астрооблемами понимают ископаемые метеоритные кратеры, потерявшие вследствие эрозии и захоронения, явные морфологические признаки впадин. Как синоним часто употребляют термин импактные структуры, вносящий неявные ограничения минимальных размеров, или говорят о кратерах, что не соответствует в настоящее время ровным, поверхностям. В соответствии с семантикой термина можно было бы уточнить его, понимая под астрооблемой *любой след соударения Земли с космическим телом*.

Концепцию взрывного метеоритного кратерообразования на Земле, широко использующую понятие об астрооблемах, следует отнести к фундаментальным достижениям геологии XX столетия. Общее количество работ, посвященных различным аспектам изучения астрооблем, включая тезисы международных конференций, в настоящее время исчисляется сотнями тысяч. Поэтому в рамках статьи непосильно рассмотреть даже важнейшие результаты этих работ или попытаться отсеять явные ошибки и «информационный шум». Мы ограничиваемся только темой названия статьи.

### 2. О КОЛИЧЕСТВЕ ИЗВЕСТНЫХ АСТРОБЛЕМ, ТЕМПАХ ИХ ОТКРЫТИЯ И РЕЗЕРВЕ НЕОТКРЫТЫХ СТРУКТУР ЭТОГО ТИПА

Строение и эволюция внутренних твёрдых оболочек Земли обуславливает циклическое повторение мощных тектонических и вулканических процессов на её поверхности. Эти процессы определяют «меняющийся лик» Земной поверхности, «стирают» астрооблемы и консервируют в их остатках особенности уникальных преобразований разных горных пород и минералов, а в осадочном выполнении кратеров — особенности минувших эпох.

Интенсивность эндогенных и экзогенных геологических процессов на Земле приводит к наихудшей сохранности на её поверхности импактных кратеров по сравнению с другими твердокоровыми телами Солнечной системы (планеты, их спутники, малые планеты).

Из-за разнообразия типов «земной мишени», и в меньшей степени из-за разнообразия космических снарядов, исследование каждой астрооблемы представляет интерес как получение новых данных о неповторимых природных экспериментах.

Изучение астроблемы начинается с её открытия, т.е. с доказательства её происхождения в результате космического удара.

В [10] мы установили, что на тот момент времени количество вновь открываемых астроблем росло по экспоненциальному закону

$$N = e^{2,83+0,12t}, \tag{1}$$

где  $N$  — количество открытых кратеров,  $t$  — время в годах, начиная с 1960 года, который можно считать начальным в получении новых данных по диагностике воздействия метеоритных взрывов на горные породы.

Очевидно, что такие высокие темпы открытия астроблем не могут существовать неограниченно долго и через какое-то время должно почувствоваться уменьшение резерва легко открываемых структур этого типа. Заметно небольшое замедление темпов открытия астроблем, начиная примерно с 1990 года (рис. 1).

В пределе, учитывая, что скорость образования астроблем ниже темпов их открытия, можно ожидать, что зависимость приобретёт общий вид

$$N_{\text{откр.}} = N_{\text{общ.}} - Be^{at}, \tag{2}$$

где  $N_{\text{откр.}}$  — количество астроблем, открытое к текущему моменту времени  $t$ ;  $N_{\text{общ.}}$  — общее количество астроблем, которые могут быть открыты,  $B$  и  $a$  — коэффициенты.

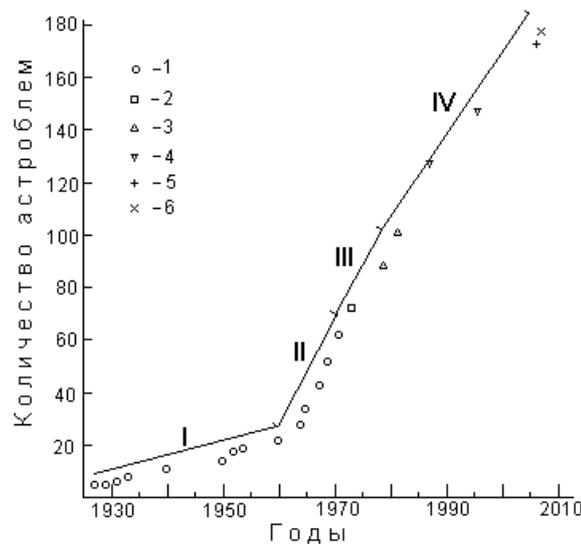
Точное количество астроблем, установленных на данный момент времени, определить трудно, поскольку нет совершенно объективного единого подхода к требованию достаточности их диагностических признаков и нет системы международного научного арбитража. Некоторые авторы, даже имеющие успехи в изучении астроблем, оказываются абсолютно необъективными в отношении собственных «открытий».

В значительной мере это относится к некоторым геологам бывшего СССР.

Однако, по нашей оценке, количество «сомнительных» астроблем, которым вскоре предстоит покинуть соответствующие сводки, в каждый текущий момент времени примерно уравнивается количеством уже «почти» доказанных, которые впоследствии пополнят эти сводки.

Если принять приведенное выше значение нового определения астроблемы, то размеры достоверно установленных астроблем Земли колеблются в пределах не менее шести десятичных порядков: от первых десятков сантиметров до сотен километров. Наименьшие астроблемы встречаются в связи с выпадением «метеоритных дождей» при расколах космических «снарядов» над поверхностью Земли. Они отдельно не учитываются и фигурируют в списках с указанием размера только крупнейшей. В месте падения в 1947 году Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя (крупнейший кратер — 27 м) в 1947-1950 годах было задокументировано 200 подобных следов [13].

К наименьшим установленным самостоятельным астроблемам Земли, следует отнести Стерлитамакский кратер (10 м — падение, 1990 года), структуру удара Лансмяэ — радиально лучистый пучок трещин с тангенциальными перемычками — типичная структура разрушения жесткой плиты резким ударом. В работе [19] приведены доводы, исключающие техногенный характер структуры и датирующие её обра-



**Рис. 1.** Динамика открытия астроблем и метеоритных кратеров. 1 — по [25]; 2 — по [28]; 3 — по [10]; 4 — по [20, 21]; 5 — по [24]; 5 — по [11]. **I** — ранний период до открытия признаков ударного метаморфизма; **II** — прирост, в основном, за счёт открытий на Канадском щите (В. Robertson, R.Grieve и др.); **III** — прирост, в основном, за счёт открытий в СССР, в том числе — в Украине (В.Л.Масайтис и др.); **IV** — прирост, в основном, за счет открытий в северной Европе, в Африке, в Австралии, в Южной Америке.

зование 20-ю тысячами лет. Предполагается, что структура удара образовалась в твёрдом известняке в основании примерно 10-метрового кратера в рыхлых породах.

Примеры Стерлитамакского, Сихотэ-Алинского и других метеоритных падений показывают, что может не быть чёткой границы между минимальными размерами взрывных и максимальными размерами чисто ударных кратеров. В некоторых типах мишени многие размерные характеристики кратеров (соотношение глубины и диаметра, высота вала выбросов, форма и размер поля их распространения) во многих случаях подобны. Критерием их распознавания может быть отсутствие в воронках взрывных кратеров крупных метеоритных обломков.

Крупнейшими среди достоверно установленных астроблем являются Вредефорд в Южной Африке (300 км, возраст  $2023 \pm 4$  млн. лет); Садбери в Канаде (исходный диаметр 250 км, возраст  $1850 \pm 3$  млн. лет). Астроблема сплющена посткратерной тектоникой в неправильный эллипс размером  $65 \times 25$  км, Чихсулуб на побережье Мексиканского залива (более 180 км, возраст, 65 миллионов лет).

Чихсулуб получил ещё название «кратер-убийца». Взрыв при его образовании привёл к массовому вымиранию организмов 65 миллионов лет назад. Выбросы из этого кратера имеют глобальное распространение, известны в сотнях пунктов на всех континентах.

Предполагается существование ещё более крупных структур астроблемной природы. Из них крупнейшая — Тихий океан, который мог образоваться при мегаимпакте, приведшем к образованию Луны.

Первоначальное распределение метеоритных кратеров по размерам подчиняется степенной зависимости

$$N_D = N_{D_0} \times D^{-h}, \quad (3)$$

где  $N_D$  и  $N_{D_0}$  — число кратеров диаметром  $D$  и  $D_0$  при  $D > D_0$ . Значение  $h$  по данным разных авторов может колебаться в пределах  $2,05 \div 2,4$ . В [4] показано предпочтительность значения 2,3, подтверждающего позднейшими работами [23].

Решение задачи о количестве астроблем, образовавшихся со времени, отвечающему возрасту древнейших горных пород ( $\sim 3,6$  миллиарда лет), по-видимому, не может быть вполне корректным. Необходимо знать соотношение площадей океанов и суши, глубины морей и океанов, сведения об атмосфере. Таких данных в настоящее время для всей геологической истории Земли — нет. Недостаточно изучена и скорость затухания метеоритной бомбардировки в самый ранний период геологической истории Земли.

Используя полученный ранее результат [7] для числа кратеров, образовавшихся за 500 миллионов лет на равнинной суше, и распространив эти данные на всю сушу и 3,6 миллиарда лет, получим  $6,5 \cdot 10^5$  кратеров более 1 км и  $1,7 \cdot 10^7$  — для кратеров размером более 100 метров. Это по порядку величин совпадает с оценками других авторов.

Экстраполяция количества астроблем на меньшие размеры, по-видимому, некорректна, не только по причине тормозящего и разрушающего действия атмосферы Земли на летящие космические снаряды, но и в результате стирания последующими взрывами предыдущих и возникновения вторичных кратеров при крупных импактах.

По нашей оценке, в настоящее время число установленных астроблем составляет 178.

Более или менее обоснованные определения резерва неоткрытых астроблем возможны только для локальных территорий на Земле.

Для некоторых геологически стабильных регионов на основании изучения плотности астроблем можно сделать оценки продолжительности экспозиции, т.е. времени, в течение которого образование кратеров значительно превышало скорость их разрушения (захоронения). Это можно сделать, например, путём построения кумулятивных кривых распределения кратеров по размерам и сравнения их положения для регионов с известным и неизвестным временем экспозиции.

На таких графиках [4, рис. 1] заметен крутой излом, выше которого абсолютное значение  $h$  (уравнение (2)) гораздо меньше 2. На Украинском щите изгиб соответствует  $\sim 4$  км. На Канадском щите абсцисса точки перегиба соответствует  $\sim 7$  км. Это свидетельствует о том, что открытие астроблем больших, чем указанные величины, здесь — маловероятно.

При постоянной скорости кратерирования эффективное время экспозиции может быть выражено через диаметр единичного кратера на единицу площади:

$$t = t_0(D/D_0)^{2,3} \quad (4)$$

где  $t$  — искомое время экспозиции,  $t_0$  — известное время экспозиции,  $D$  и  $D_0$  — диаметры единичных кратеров для регионов с эффективным временем экспозиции  $t$  и  $t_0$  — соответственно.

Таким образом, используя кратерную статистику для некоторых регионов Луны и пренебрегая для приближённых оценок различием в гравитационных поперечниках захвата малых тел и различиями во влиянии гравитации на диаметр кратера в системе Земля–Луна (эти различия в определённой мере компенсируются), и приняв возраст Океана Бурь 3,15 миллиарда лет [1], получили для Канадского и Украинского щитов эффективные времена экспозиции соответственно 320 миллионов и 1 миллиард лет,

**Таблица 1.** Распределение по возрасту и размеру астроблем, моложе 1 млн. лет по [11, 24] с добавлениями

Возраст, лет	Количество астроблем*	Минимальный диаметр	Максимальный диаметр
$20 \div 10^4$	10	10 м (Стерлитамак)	300 (Мача)
$10^4 \div 10^5$	19	157 м (Хенбери)	1,8 км (Лонар) 1 × 4,5 км (Рио Куарто)
$10^5 \div 10^6$	7	24 м (Далгаранга)	14 км (Жаманшин)

Примечание\*. Группы мелких кратеров (Моразко, Илуметса, Каали, Мача и другие) учтены как один наибольший кратер группы.

что находится в хорошем согласии с геологическими оценками [1, 10].

Зависимость числа открытых астроблем с отношением времен их экспозиции справедливо только для стабильных регионов и только для астроблем более крупных размеров, чем абсцисса точки перегиба кривой зависимости числа астроблем от их размеров.

В работах [5, 7, 10] на основании анализа особенности геологического развития региона с использованием оценок скоростей стирания и накопления кратеров для Украинского щита был выполнен прогноз резерва легко открываемых астроблем. Предполагалось открытие, в основном, относительно мелких астроблем кайнозойско-мезозойского возраста. Эти оценки пока не подтвердились, возможно, из-за прекращения специальных геологических работ.

В работе [16] рассмотрены факторы накопления, захоронения и стирания астроблем для регионов с разной геологической историей. В последующие годы оценки накопления и захоронения астроблем сделаны в работах [11, 26].

Суммарное количество сохранившихся астроблем определяется в значительной мере сохранностью более молодых и мелких структур.

Из 178 учтённых в настоящей работе астроблем 128 имеют кайнозойский возраст (менее 65 миллионов лет) (рис. 2), из которых 35 — моложе 1 миллиона лет (табл. 1).

Табл. 1 демонстрирует логарифмический характер падения числа сохранившихся астроблем от их возраста и примерно линейную зависимость увеличения их максимального диаметра от возраста. Для более мелких астроблем высокая сохранность, обеспечивается стабильностью региона в последние отрезки геологического времени и его географическими характеристиками. Кроме геоморфологических, важны климатические условия на поверхности мишени: лучшая сохранность мелких астроблем наблюдается в условиях равнин с аридным климатом.

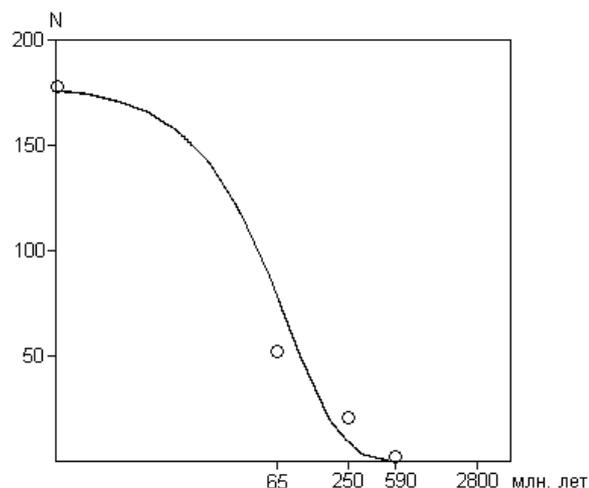
Кривая на рис. 2 описывается зависимостью:

$$y = 178 \exp(-0,013t), \quad (5)$$

где  $y$  — количество астроблем древнее возраста  $t$ , выраженного в миллионах лет.

Такой вид зависимости определяется, в основном, прогрессивным стиранием со временем мелких астроблем.

Однако, в настоящее время, пожалуй, главным фактором, определяющим плотность открытых астроблем, является изученность территорий и наличие специального интереса (программ, частных иници-



**Рис. 2.** Накопительная кривая известных астроблем в зависимости от их возраста. По оси ординат показано количество установленных к настоящему времени астроблем. По оси абсцисс — их возраст в логарифмическом масштабе. Кружки — данные, пересчитанные из [27] с изменениями.

**Таблица 2.** Плотность распространения астроблем на материках

Материк	Площадь, $10^6$ км <sup>2</sup> [5]	Количество астроблем (по [11, 24] с изменениями)	Плотность астроблем, км <sup>-2</sup>
Австралия	7,6	26	$3,4 \cdot 10^{-6}$
Азия	43,9	15	$3,5 \cdot 10^{-7}$
Америка Северная	24,3	57	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Америка Южная	18,3	8	$4,4 \cdot 10^{-7}$
Антарктида	16,4	–	–
Африка	29,2	19	$6,5 \cdot 10^{-7}$
Европа	10	53	$5,3 \cdot 10^{-6}$
Всего	149,7	178	$1,2 \cdot 10^{-6}$ (среднее)

**Таблица 3.** Плотность распределения астроблем в пределах некоторых геологических регионов

Регион	Площадь, $10^6$ км <sup>2</sup> , по [7] с исправлениями	Количество астроблем		Плотность астроблем, км <sup>-2</sup>	
		1977 [7]	2008	1977	2008 (эта работа)
Канадский щит	4	20	27	$5 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$
Балтийский щит со склонами	1,2	7	18	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Украинский щит со склонами	0,25	6	7	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
Северо-Американская платформа	1,2	8	15	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Русская платформа	2,1	6	8	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$

атив, традиций) к проведению специальных работ.

Работы по изучению метеоритного кратерообразования на Земле получили мощный толчок в связи с потребностями ракетно-ядерной отрасли ВПК США: научно-технические программы по изучению реакции литосферы на мощные взрывы (образование кратеров, изменение состояния вещества), по высадке человека на Луне (программа «Аполлон») и др.

В СССР решающее влияние на развитие этого нового направления имело открытие В.Л.Масайтисом с соавторами метеоритно-кратерной природы 100-километровой Попигайской структуры на севере Западной Сибири [17] и импактных алмазов, псевдоморфно заместивших графит в его породах [18]. Гипнотическое действие слова «алмаз» привело к активизации и поддержке работ по поиску и изучению астроблем в СССР. В частности, хорошие условия для развития нового направления создались и были реализованы в Украине [10]. Этому способствовало открытие в мелкозернистых титано-циркониевых россыпях импактных алмазов и разработка методики их сепарации (И.Ф.Кашкаров и др.).

Благодаря хорошей геологической изученности территории Украины достаточно оперативно был произведен поиск возможных метеоритных кратеров и изучение проявлений ударного метаморфизма в их породах [10, 14], включая прямое определение импактных алмазов [6]. Работы были поддержаны в рамках специальных тем.

Сейчас астроблемы ищут, открывают и изучают, в основном, в рамках работ по международным программам. В частности, уже в текущем столетии, благодаря поддержке Европейского научного фонда, значительные успехи были достигнуты в открытии астроблем на окраинах Балтийского щита. Распределение открытых астроблем для континентов и некоторых наиболее стабильных геологических регионов представлено в табл. 2, 3.

Средняя плотность астроблем на лучше обследованных континентах (Австралия, Европа, Северная Америка) составляет  $2,2 \cdot 10^{-6}$  км<sup>-2</sup>. Для хуже обследованных континентов (Азия, Африка, Южная Америка) она составляет  $4,6 \cdot 10^{-7}$  км<sup>-2</sup>. Оценка особенностей геологического строения показывает, что плотность распространения астроблем, достигнутая на лучше изученных континентах, может быть повторена с точностью не хуже 10% — и на менее изученных. Тогда резерв легко открываемых астроблем грубо может быть оценен в  $290 \pm 30$ .

Отдельно следует оценить резерв самых молодых относительно мелких астроблем. Самая высокая в мире плотность астроблем примерно 100 м менее и моложе примерно  $5 \cdot 10^4$  лет наблюдается в Эстонии:  $10^{-4}$  км<sup>-2</sup>. Это отражает большой интерес к исследованию метеоритных кратеров в этой стране. Ещё в рамках СССР эстонскими учёными были представлены на одной из последних метеоритных конференций доказательства метеоритного происхождения двух небольших озёр в Подмоскowie (в данной работе не учтены).

Пересчёт астрономических оценок [11, 23] даёт число образовавшихся мелких кратеров 30–100 м за 50 тысяч лет в пределах от 5 до 25 тысяч. Плотность, установленная в Эстонии, попадает в эти пределы.

Можно предположить, что при том внимании, которое в последние годы уделяется поискам метеоритов, приобретших высокую материальную ценность, резерв мелких астроблем, которые могли бы быть

открыты, следует оценить в  $N \geq 10^3$ .

### 3. ИЛЬИНЕЦКАЯ АСТРОБЛЕМА КАК ОБЪЕКТ НАУЧНОГО ТУРИЗМА

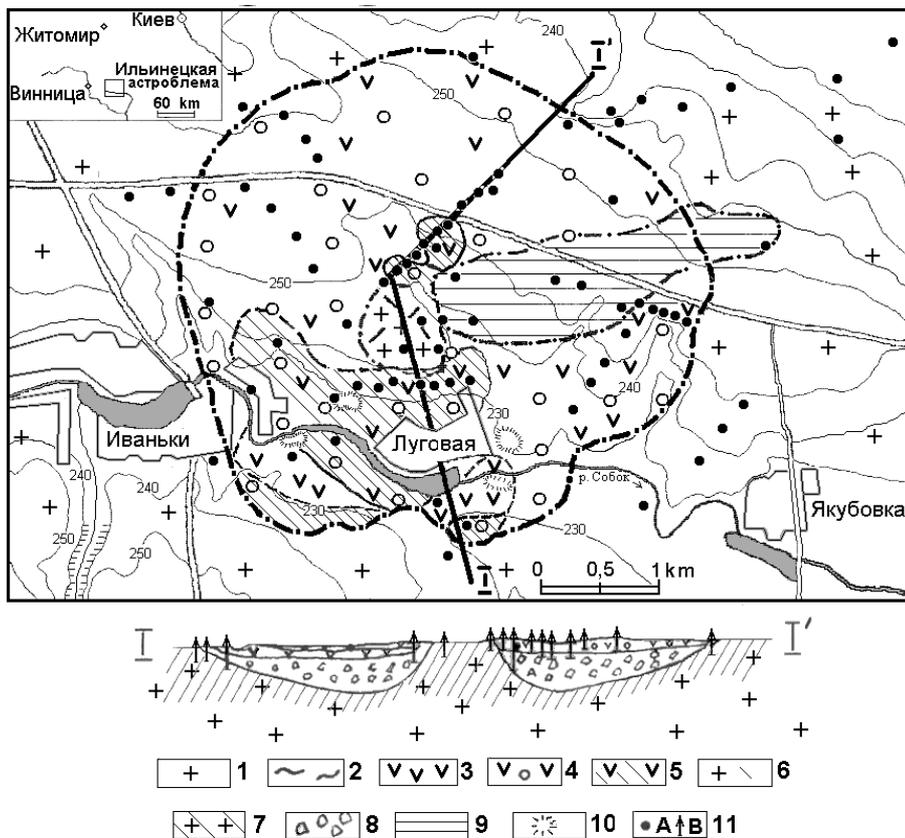
Автору довелось в 1973 году стать первым геологом, который обследовал Ильинецкую геологическую структуру со сложившимися представлениями о её астроблемной природе на основании диагностики признаков ударного метаморфизма [9] в образцах В.А. Рябенко, проводившего здесь ранее геологическую съёмку. Геологическое строение структуры как астроблемы сложной формы интерпретировано в [3].

В начале 1975 года в породах астроблемы были обнаружены импактные алмазы (по-видимому, второй раз в мире после Попигайской) [6].

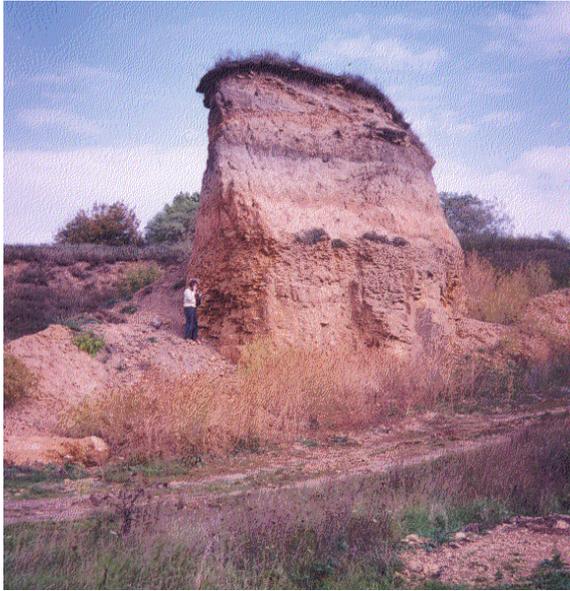
Результаты более поздних работ обобщены в [8] и в соответствующих разделах монографий [12, 14]. Впервые на существование в районе сёл Луговая и Иваньки горной породы, отличающейся от вмещающих гранитов, указал в 1851 году будущий ректор Киевского университета Константин Матвеевич Феофилакт. Он нанёс их на карту и назвал фельзитовым порфиром (1872 г.). Это определение относится, вероятно, к обнажению в правом борту р. Собок ниже плотины у с. Луговое (рис. 3). В.Е. Тарасенко (1998 г.) привел результаты первого петрографического исследования этих пород с применением поляризационного микроскопа. Он, хотя и определил изученные им породы как эффузивные, в соответствии с уровнем развития науки того времени, но обратил внимание на их необычность, заключающуюся, прежде всего, в очень интенсивных деформациях включений кварцевых зерен, и определил их происхождение как обломков вмещающих гранитоидов — собитов. Среди ильинецких «эффузивов» В.Е. Тарасенко выделил черную породу сливного сложения (по современной терминологии — тагамит), впервые химически проанализировал её и назвал трахитом, и «землистую разновидность», состоящую из разнообразных обломков (по современной терминологии — зювит), названную им вулканическим туфом. Эти горные породы явились одними из первых петрографически изученных импактитов в мире.

Предлагающийся наиболее полный вариант геологической карты астроблемы учёл результаты изучения нами керн скважин, пробуренных с разными целями на площади астроблемы, в основном в 1954–1979 гг. Положение изученных скважин показано на карте и разрезе (рис. 3). Мы рекомендуем работу [8] как основу для составления астрономо-геологического текста экскурсоводу.

Сейчас геологам [12] стали известны работы археологов, которые определяют время древних раз-



**Рис. 3.** Схематическая геологическая карта и разрез Ильинецкой астроблемы: 1 — гранитоиды («собиты»); 2 — гнейсы; 3 — тагамиты; 4 — зювиты; 5 — распространение тагамитов под слоем зювитов; 6 — брекчированные гранитоиды центрального поднятия; 7 — аутигенная брекчия (на разрезе); 8 — аллогенная брекчия (на разрезе); 9 — алевролиты и глины кратерных осадков; 10 — обнажения; 11 — скважины: А — на карте, В — на разрезе.



**Рис. 4.** Останец в зювитовом карьере у северо-западной окраины с. Луговое, 1999 год. Внизу обнажаются выветрелые зювиты (примерно 5 м), выше — кора выветривания по зювитам и отвалы древней горной добычи с чёрными прослоями перемещённой почвы.



**Рис. 5.** Древняя заготовка для солонки или другого изделия из отвалов древних разработок на восточной окраине с. Луговое

работок ильинецких зювитов, начиная с III века новой эры (черняховская культура). Как показано в работе [22], выветрелые Ильинецкие зювиты оказались очень удобным, а быть может, уникальным материалом для изготовления ручных жерновов. Не исключено, что эти свойства обеспечивало именно импактное происхождение пород. Уникальность материала даёт редкую возможность археологам точно определить источник сырья и очертить пространственно-временной ареал распространения этих изделий.

Обвалившиеся древние выработки обусловили кочковато-ямчатый рельеф местности в районе с. Луговое. Уже в наше время зювиты разрабатывались для строительных целей. В частности, из них выполнено булыжное покрытие дороги Иваньки–Поповка–Липовец. В 1970-х годах местным колхозом были пройдены на западной и восточной окраине Лугового карьера, вскрывшие древние разработки.

Археологические следы городища на правом берегу р. Собок, упомянутые в [8], по интерпретации П.И.Хавлюка являются поселениями черняховского времени.

В восточном карьере с. Луговое наблюдаются стенки обработанных поверхностей древних выработок. В этом карьере в древних отвалах в 1973 году нами найдено изделие из рога оленя (рис. 5).

Это изделие очень похоже на обнаруженные при раскопках Древнерусского города Воина (XI–XIII века, ныне затопленное устье р. Сулы). Мы надеемся, что сравнительное изучение этой находки позволит уточнить как её назначение, так и временной интервал разработок ильинецких зювитов.

**Благодарности.** Автор благодарен А.И.Писанскому за помощь в оформлении статьи и за расчёт зависимости (рис. 2, уравнение (5)) и Л.В.Чмиль — за помощь при интерпретации археологической находки (рис. 5).

1. *Базилевский А.Т.* Геологическое строение и история развития поверхности Луны // Известия АН СССР, сер. геол. — 1977. — № 5. — С. 5–19.
2. Большая Советская энциклопедия, 3-е издание в 31 томе. — Москва: Советская энциклопедия, 1969–1981.
3. *Вальтер А.А.* Расшифровка Ильинецкой структуры как астроблемы // ДАН СССР. — 1975. — **224**, № 6. — С. 1377–1379.
4. *Вальтер А.А.* Современные представления о взрывных метеоритных кратерах на Земле // Геология и петрология взрывных метеоритных кратеров. Под ред. В.А. Рябенко. — Киев: Наукова думка, 1982. — С. 5–20.
5. *Вальтер А.А.* О вероятном общем количестве кратеров на Украинском щите // Геология и петрология взрывных метеоритных кратеров. Под ред. В.А. Рябенко. — Киев: Наукова думка, 1982. — 224 с. — С. 202–205.
6. *Вальтер А.А.* Український внесок до мінералогії імпактних утворень // Записки Українського мінералогічного товариства, 2005. — **2**. — С. 62–85.
7. *Вальтер А.А., Гуров Е.П.* Установленная и предполагаемая распространённость взрывных метеоритных кратеров на Земле и их сохранность на Украинском щите // Метеоритные структуры на поверхности планет. Под ред. В.В.Федынского и А.И.Дабижи. — Москва: Наука, 1979. — С. 126–148.
8. *Вальтер А.А., Криводубский В.Н., Солоненко В.И.* Ильинецкая астроблема // Сучасні проблеми комет, астероїдів, метеорів, метеоритів, астроблем і кратерів. Під ред. К.І. Чурюмова. — Вінниця, 2000. — С. 367–380.

9. Вальтер А.А., Рябенко В.А. Петрографические признаки ударно-метеоритного происхождения Ильинецкой структуры (Винницкая область) // Геол. журнал, 1973. — **33**, № 6. — С. 142–146.
10. Вальтер А.А., Рябенко В.А. Взрывные кратеры Украинского щита. — Киев: Наукова думка, 1977. — 154 с.
11. Вишневецкий С.А. Астроблемы. — Новосибирск: ООО “Нонпарель”, 2007. — 288 с.
12. Гуров Е.П., Гожик П.Ф. Импактное кратерообразование в истории Земли. — Киев, 2006. — 211 с.
13. Кринов Е.Л. Железный дождь. — М.: Наука, 1981. — 190 с.
14. Масайтис В.Л. Астроблемы на территории СССР // Сов. геология. — 1975. — № 11. — С. 52–64.
15. Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Мащак М.С. и др. Геология астроблем. — Л.: Недра, 1980. — 231 с.
16. Масайтис В.Л., Мащак М.С., Езерский В.А. Продолжительность существования импактных морфоструктур в разных геологических условиях // Известия Академии Наук СССР, Сер. геол. — 1985. — № 2. — С. 109–114.
17. Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановская Т.В. Попигаийский метеоритный кратер. — М.: Наука, 1975. — 123 с.
18. Масайтис В.Л., Футургендлер С.И., Гнеушев М.А. Алмазы в импактиках Попигаийского метеоритного кратера // Зап. Всесоюзн. Минерал. о-ва. — 1972. — **101**, — № 1. — С. 108–112.
19. Пиррус Э.А., Тийрмаа Р.Т. Метеоритные кратеры Эстонии // XX Всесоюзная метеоритная конференция. 10–12 февраля 1987 г. Таллин. Тезисы докладов. — Москва, ГЕОХИ, 1987. — С. 3–4.
20. Фельдман В.И. Каталог астроблем и метеоритных кратеров Земли // Метеоритика. — 1987. — **46**. — С. 154–171.
21. Фельдман В.И. Каталог астроблем и метеоритных кратеров Земли (Дополнение 1) // Метеоритика. — 1993. — **50**. — С. 142–143.
22. Хавлюк П.І. До питання про виготовлення жорен у давній Русі // Археологія. — 1973. — № 9. — С. 34–40.
23. Bland P.A., Artemieva N.A. The rate of small impacts on Earth // Meteoritics and Planetary Science. — 2006. — **41**, — № 4. — P. 607–631.
24. Earth Impact Database, Planetary and Space Science Centre at the University of New Brunswick, Canada <http://www.unb.ca/pask/impactDatabase>, 2007.
25. French B.M. Shock metamorphism as a geological process // Shock metamorphism of natural materials. Editors — B. French, N.Short. Baltimore, Mono Book Co, 1968. — P. 1–19.
26. Grieve R.A.F., Pesonen L.J. Terrestrial impact craters: their spatial and temporal distribution and impacting bodies // Earth, Moon and Planets. — 1996. — **72**. — P. 357–376.
27. Langenhorst F. Shock metamorphism of some minerals: Basic introduction and microstructural observations // Bulletin of the Czech Geological Survey. — 2002. — **77**, — № 4. — P. 265–282.
28. Millman P.M. The Space Scars on the Earth // Nature. — 1971. — **232**, IV5307. — P. 161–164.
29. Robertson P.B., Grieve R.A.F. The Terrestrial Cratering Record. II. The crater Production Rate // Icarus. — 1979. — **38**. — P. 230–242.

Поступила в редакцию 24.10.2011