

Глава 8. ТЕРНОВСКАЯ ИМПАКТНАЯ СТРУКТУРА

Терновская астроблема является глубоко эродированной сложной импактной структурой. Она расположена на востоке центральной части Украинского щита на водоразделе р. Ингульца и его левого притока р. Саксагань. Координаты центра структуры: 48°01' с. ш., 33°05' в. д. Название импактная структура получила по названию поселка городского типа Терны, расположенного к югу от нее.

Ударное происхождение Терновской импактной структуры впервые доказано А. П. Никольским (1979), диагностировавшим ударнометаморфизованные породы и импактиты в описанной здесь ранее "брекчиевой трубке" (Тихонов и др., 1968).

В дальнейшем описание особенностей геологии и минералогии ударнометаморфизованных пород импактной структуры было выполнено Г. К. Еременко и В. М. Яковлевым (1980), А. А. Вальтером и В. А. Рябенко (1982), А. П. Никольским и соавторами (1982), Е. П. Гуровым (1982), и некоторыми другими исследователями. Наиболее полное описание Терновской импактной структуры и вмещающих ее комплексов пород приведено в краткой монографической работе А. П. Никольского (1991): "Геология Первомайского железорудного месторождения и преобразование его структуры метеоритным ударом".

Терновская импактная структура расположена в северной части Криворожского железорудного бассейна (рис. 2.29). Мишень кратера имеет весьма сложное складчато-блоковое строение. В ее строении преобладают метаморфические образования криворожского комплекса нижнего протерозоя с возрастом около 1900—2600 млн лет (Никольский, 1991). Комплекс слагают кварциты, джеспилиты, филлитовидные слюдяные сланцы, микросланцы, магнетит-амфиболовые сланцы, метапесчаники и некоторые другие менее распространенные типы пород. В составе криворожского комплекса выделены три подсвиты: нижняя представлена кварцито-песчаниками и слюдястыми сланцами, средняя состоит из железистых кварцитов, джеспилитов, хлорит-биотитовых сланцев и куммингтонитовых сланцев с гранатом, и верхняя представлена биотит-кварцевыми сланцами, метапесчаниками, метаалевролитами, кварцитами и мраморами.

Промышленная добыча джеспилитов производится в Первомайском и Анновском карьерах (рис. 2.29). В строении основания восточной части импактной структуры принимают участие амфиболиты и амфиболовые сланцы конкско-верховцевской серии, относящиеся к основанию криворожской серии.

Терновская структура представляет собой интенсивно эродированный кратер с центральным поднятием, в котором на современной поверхности обнажаются реликты комплекса импактных пород, представленных аллогенными брекчиями. Обломочные и глыбовые брекчии с проявлениями в породах и минералах ударного метаморфизма распространены в пределах изометрического участка диаметром 7—8 км, который принимается как диаметр кратера на современном уровне эрозии. На местности площадь выходов на поверхность импактных пород ограничена на северо-западе Анновским, и на юго-востоке Первомайским железорудными карьерами. В то же время полный срез не только кратерного вала, но и значительной толщи импактных пород свидетельствуют о значительно большем его исходном диаметре. Окружающие площадь распространения аллогенных пород брекчированные породы и брекчии, представляющие собой частично переработанные ударом породы основания, развиты на территории диаметром до 15 км (Никольский, 1991; Никольский и др., 1982). В сводке (Grieve, 1991) диаметр Терновской импактной структуры приводится равным 11 км.

По данным (Никольский, 1991), глубина распространения брекчий и брекчированных пород в центральной части структуры по данным бурения достигает 1500 м без разделения их на аллогенные и аутигенные образования. Согласно зависимости глубины сложного кратера от его диаметра (Gurov et al., 1995), истинная глубина кратера диаметром 15 км составляет около 660 м. В связи с плохой обнаженностью кратера (за исключением вскры-

той карьером южной части структуры), его современные и исходные параметры выяснены недостаточно.

В центральной части структуры выделяется центральное поднятие диаметром около 2 км, сложенное мегабрекчиями и глыбовыми брекчиями пород основания. Центральное поднятие окружено кольцеобразным трогом диаметром до 8 км, в пределах которого аллогенные брекчии и зювиты пользуются широким распространением. Вместе с тем, брекчии и зювиты не образуют значительных по площади однородных выходов, а развиты в виде тел сложной морфологии между блоками брекчированных пород основания. Эти особенности строения кратера позволяют предполагать глубокий срез кратера до уровня, близкого к уровню его истинного дна. Форма тел зювитов и ударнорасплавленных пород по данным (Никольский, 1991) представлена в виде разветвленной системы крутопадающих зон субмеридионального — северо-западного простирания в мегабрекчиях и брекчированных породах основания.

Крупноглыбовые аллогенные литические брекчии являются одним из наиболее распространенных типов пород кратера на современном уровне его среза. Эти породы образуют протяженные обнажения в северо-западной стенке Первомайского железорудного карьера, где на протяжении около 1500 м наблюдаются выходы брекчий. Размеры глыб колеблются от десятков сантиметров до первых метров и достигают 7—8 м в диаметре. Обломки и глыбы представлены хлорит-биотитовыми, серицит-хлоритовыми, двуслюдяными сланцами и кварцитами, и менее распространенными типами пород: железистыми кварцитами, карбонатными породами и амфиболитами. Глыбы всех перечисленных типов пород распространены незакономерно, но в составе брекчий значительно преобладают различные типы сланцев. Глыбы сцементированы обломочными и мелкообломочными брекчиями, окружающими их в виде неправильных зон. В виде глыб в свалах распространены зювиты с обломками разнообразных пород и частицами темно-зеленого стекла, замещенного монтмориллонитом и хлоритом.

Важной особенностью пород из брекчий является широкое распространение в них конусов разрушения. Наиболее часто конусы наблюдаются в обломках и глыбах сланцев, с беспорядочной ориентировкой отдельных конусов относительно друг друга. Размеры конусов изменяются в пределах от 5—10 см до 1—1,5 м. Такое широкое распространение конусов разрушения не наблюдалось ни в одном другом кратере Украинского щита, а также кратере Эльгыгытгын и некоторых других импактных структурах.

Распространение конусов разрушения прослеживалось по разрезу скважины 20 530 в западной части структуры глубиной 353 м, пройденной по брекчированным породам основания кратера, представленным метапесчаниками и биотит-хлоритовыми сланцами. В ин-

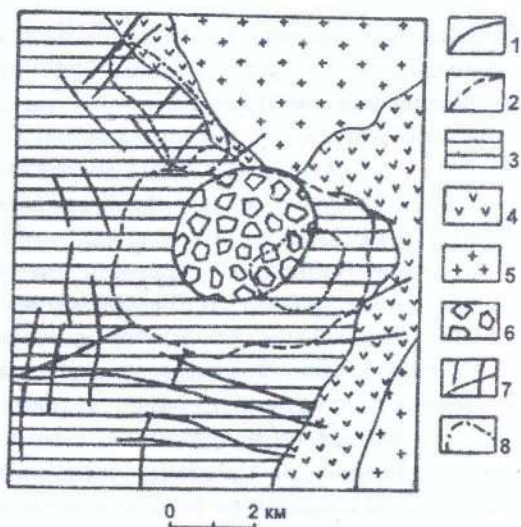


Рис. 2.29. Схематическая карта Терновской импактной структуры по (Никольский, 1991; Никольский и др., 1982) с изменениями.

1 — граница распространения аллогенных брекчий, зювитов и ударнорасплавленных пород; 2 — предполагаемая граница импактной структуры; 3 — кварциты, джеспилиты, микросланцы и гнейсы криворожской серии; 4 — породы сланцево-амфиболитовой серии; 5 — плагиомигматиты, гнейсы и амфиболиты конско-верховцевской свиты; 6 — импактные породы: брекчии, зювиты; 7 — нарушения; 8 — карьеры.

Fig. 2.29. Schematic map of the Ternovka impact structure by (Nikolsky, 1991; Nikolsky et al., 1982; with modifications).

1 — boundary of allogenic breccia, suevite and impact melt rocks occurrence; 2 — suggested boundary of the impact structure; 3 — quartzite, jespillite, microschist and gneiss of Krivorozhskaya series; 4 — schist-amphibolite series rocks; 5 — plagiomigmatite, gneiss and amphibolite of Konsko-Verchovskaya series; 6 — impact rocks: breccia, suevite; 7 — faults; 8 — quarries

тервале до глубины 107 м вскрыты слабо сцементированные аутигенные мономиктовые крупнообломочные и глыбовые брекчии метапесчаников, сцементированных зонами мелкообломочных пестрых брекчий мощностью от сантиметров до десятков сантиметров. В мелких глыбах и обломках видны редкие конусы разрушения размером до 10 см. С глубины 100—107 м в породах увеличивается количество конусов разрушения. В интервале 113 м конусы разрушения пересекают керн через каждые 2 см. На 118—119 м конусы наблюдаются в породах через каждые 3—4 см. В интервале 135—140 м конусы разрушения в брекчиях не наблюдаются. Далее вниз по разрезу скважины в брекчированных песчаниках, рассеченных зонами дробления и брекчирования, конусы разрушения встречаются через каждые 3-5 см вмещающих пород. Их беспорядочная ориентировка под разными углами к оси керна и относительно друг друга свидетельствуют о брекчировании пород *после* образования конусов разрушения, т. е. после прохождения фронта ударной волны. Со 150—205 м наблюдается уменьшение зон мелкообломочных брекчий в породах. Распространение конусов разрушения несколько понижается, и соседние конусы разделены интервалами 5—10 см. В слабо брекчированных метапесчаниках в интервале 238—253 м снова густота конусов разрушения повышается. По параллельно ориентированным конусам породы раскалываются на остроугольные блоки. Заметное понижение содержания конусов разрушения в породах и их менее совершенная форма наблюдаются на 285—300 м. С глубины 300 м скважиной вскрыты слабо катаклазированные однородные метапесчаники с маломощными зонами брекчий. Густота распространения конусов разрушения в интервале от 335 до забоя на 353 м составляет около 1 конуса на 10—20 см керна.

Таким образом, в скважине в интервале 353 м прослеживается понижение интенсивности воздействия на породы ударной волны, которое фиксируется понижением частоты распространения конусов разрушения и зон дробления пород с глубиной.

Определения ударных давлений, при которых в метапесчаниках Терновской структуры происходило образование конусов разрушения, были произведены рентгеновским методом (Hörz and Quaide, 1973) по степени астеризма отражений на рентгенограммах зерен диаплектового кварца, отобранных непосредственно с поверхности этих структур. Ударные давления, испытанные песчаниками, были определены равными около 12—14 ГПа. Для сравнения, ударные давления до 14 ГПа установлены для формирования конусов разрушения в ударнометаморфизованных вулканогенных породах кратера Эльгыгытгын. В гранитоидах основания Западной импактной структуры этим методом определены давления для образования конусов разрушения около 7 ± 2 ГПа (Gurov et al., 2002).

Микроскопические признаки ударного метаморфизма в минералах и породах Терновской импактной структуры отчетливо выражены во всех типах пород аллогенного комплекса и менее интенсивно проявлены в составе аутигенных брекчий основания. Ударный метаморфизм кварца выражен в образовании в нем систем планарных элементов, понижении показателей преломления и двупреломления до полной изотропизации и перехода в диаплектовое стекло. Макроскопически диаплектовый кварц, испытавший ударные давления от умеренных до высоких, становится непрозрачным и приобретает опаловидный облик. Показатели преломления измененного кварца из Первомайского карьера и отвалов вблизи от его северного борта составляют: n_o от 1,551 до 1,542, n_e от 1,542 до 1,534, двупреломление 0,008—0,009. Соответствующие этим параметрам кварца ударные давления по диаграмме (Stöffler and Langenhorst, 1994) составляют от 22 ± 3 до 25 ± 3 ГПа.

Для выделения и диагностики высокобарических фаз кремнезема было произведено частичное и полное растворение во фтористоводородной кислоте образцов ударнометаморфизованного кварца, испытавшего ударные давления 20—25 ГПа. В связи с более слабой растворимостью коэсита по сравнению с кварцем и полной нерастворимостью стишовита, для выделения и диагностики коэсита производилось частичное растворение ударнометаморфизованного кварца, и для выделения стишовита производилось его полное растворение в концентрированной фтористоводородной кислоте, при котором полностью раст-

ворялся не только кварц, но и коэсит. Эта фаза кремнезема была диагностирована в некоторых пробах после сокращения объема исходного кварца в 50—100 раз. Нерастворимый остаток был представлен в виде чрезвычайно тонкозернистых масс серого цвета. Рентгеновский фазовый анализ нерастворимого остатка показал, что он состоит из стишовита и графита (Гуров, 1982), примесь которых не была видна даже при изучении исходного кварца в шлифах. На рентгенограммах присутствие стишовита установлено по шести-восьми наиболее интенсивным линиям, в том числе: $d_{(110)} = 0,296$ нм, $d_{(111)} = 0,198$ нм, $d_{(101)} = 0,225$ нм и др. Важно отметить, что установление стишовита в породах кольцевых структур однозначно свидетельствует об их импактном происхождении: исследования стабильности стишовита доказали его низкую устойчивость при атмосферном давлении, в результате чего при повышении температуры до 250—350° его распад с образованием аморфной фазы кремнезема происходит в течение нескольких суток (Gigl and Dacheille, 1967). Эти данные доказали невозможность выноса стишовита на поверхность при эндогенных процессах из мантии, где существование этого минерала предполагается на глубинах 300—400 км (Stöffler, 1971 a).

Высокое содержание графита в составе некоторых пород мишени Терновской структуры позволили предполагать распространение в составе ударнорасплавленных пород импактного алмаза. Первые находки этого минерала были выполнены нами еще в 80-х годах, но данные в то время не были опубликованы в связи с существованием запрета на публикации любых материалов по импактным алмазам. Первая публикация о распространении импактных алмазов в породах Терновской астроблемы сделана А. П. Никольским (1991). Импактные алмазы имеют пластинчатый габитус, унаследованный от исходных кристаллов графита, размеры зерен составляют до 0,3 мм.

Продуктами ударного плавления пород основания являются массивные расплавные импактиты — тагамиты. На современном придонном срезе импактной структуры эти породы образуют дайкоподобные или крутопадающие тела сложной морфологии в аутигенных брекчиях и брекчированных породах основания в пределах центральной части структуры.

Подобная секущая форма тел расплавных импактитов установлена во многих кратерах и астроблемах, в том числе Западной и Ильинецкой (Gurov et al., 1998, 2002 и др.). По составу выделяются два типа тагамитов: лейкократовые умеренно-кислые породы и меланократовые гизингеритовые породы (Вальтер, Рябенко, 1982; Масайтис и др., 1982; Никольский, 1991).

Лейкократовые тагамиты распространены в виде крутопадающих дайкообразных тел мощностью до 30 м, секущих породы основания. Эти породы распространены в западной-северо-западной, реже центральной части импактной структуры, где они вскрыты многими выработками (Масайтис и др., 1982; Никольский, 1991). Они представлены серыми, зеленовато-серыми массивными породами

Таблица 2.11. Химический состав расплавных импактитов Терновской импактной структуры (мас. %) по (Никольский и др., 1982)

Table 2.11. Chemical composition of impact melt rocks of the Ternovka impact structure (wt%) by (Nikolsky et al., 1982)

| Компонент | Лейкократовые импактиты | Меланократовые гизингеритовые импактиты |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| SiO ₂ | 64,40 | 63,20 |
| TiO ₂ | 0,37 | 0,17 |
| Al ₂ O ₃ | 12,57 | 1,79 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,70 | 13,45 |
| FeO | 3,31 | 10,18 |
| MnO | 0,05 | 0,05 |
| MgO | 3,27 | 4,33 |
| CaO | 2,36 | 0,88 |
| Na ₂ O | 0,79 | 0,31 |
| K ₂ O | 7,18 | 0,30 |
| P ₂ O ₅ | 0,09 | 0,12 |
| П.п.п. | 4,71 | 5,00 |
| Сумма | 100,80 | 99,78 |

Таблица 2.12. Химический состав вулканогенных пород мишени кратера Эльгыгытгын (мас. %)

Table 2.12. Chemical composition of target volcanic rocks of the El'gygytyn crater (wt%)

| Компонент | 1 (8) | 2 (9) | 3 (5) | 4 (5) | 5 (3) | 6 |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| SiO ₂ | 69,94 | 71,54 | 72,98 | 63,00 | 73,37 | 70,72 |
| TiO ₂ | 0,32 | 0,23 | 0,38 | 0,56 | 0,15 | 0,29 |
| Al ₂ O ₃ | 14,52 | 13,09 | 12,49 | 16,57 | 12,30 | 13,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,90 | 1,33 | 1,28 | 3,40 | 1,26 | 1,76 |
| FeO | 1,00 | 0,76 | 0,75 | 1,37 | 0,49 | 0,86 |
| MnO | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 1,12 | 0,07 | 0,06 |
| MgO | 0,73 | 0,50 | 0,48 | 1,59 | 0,61 | 0,72 |
| CaO | 2,25 | 1,37 | 0,95 | 3,73 | 1,66 | 2,01 |
| Na ₂ O | 2,95 | 1,97 | 2,44 | 3,29 | 2,30 | 2,57 |
| K ₂ O | 3,95 | 4,93 | 5,79 | 3,08 | 5,50 | 4,48 |
| P ₂ O ₅ | 0,07 | 0,09 | 0,04 | 0,14 | 0,24 | 0,10 |
| CO ₂ | 0,65 | 0,38 | 0,98 | 0,91 | 0,29 | 0,56 |
| H ₂ O ⁻ | 0,38 | 0,52 | 0,31 | 0,56 | 0,29 | 0,39 |
| П.п.п. | 1,29 | 2,24 | 1,08 | 1,54 | 1,47 | 1,58 |
| Сумма | 100,30 | 99,80 | 100,3 | 101,06 | 100,32 | 100,28 |
| Fe ₂ O ₃ /FeO | 1,90 | 1,75 | 31,71 | 2,48 | 2,57 | 2,05 |
| Содержание в мишени, % | 40,33 | 26,89 | 5,36 | 11,30 | 16,12 | 100,00 |

Примечание. В скобках приведено число анализов. 1 — игнимбриты риолитов; 2 — туфы риолитов; 3 — риолиты; 4 — андезиты, туфы андезитов; 5 — пепловые туфы риолитов (нижний горизонт); 6 — средний состав мишени, рассчитанный пропорционально мощности различных типов пород в основании кратера.

с многочисленными включениями ударнометаморфизованного кварца и газовыми пузырями диаметром до 5 см. Часть пузырей выполнена слабо зональным серым и серо-коричневым халцедоном. Максимальный размер наблюдавшихся нами миндалин этого минерала достигал 4—5 см. Кроме Терновской импактной структуры, халцедоновая минерализация к настоящему времени установлена в пустотах ударнорасплавленных пород кратера Сааксьярви в Финляндии (Kinnunen and Lindqvist, 1998) и Ильинецкого на Украинском щите (Gurov et al., 1998). Мелкие пустоты и пузыри в тагамитах выполнены кальцитом. Матрица пород представлена слабо индивидуализированным веществом кварц-полевошпатового состава, в котором наблюдаются более крупные выделения щелочного полевого шпата. Лейкократовые разности ударнорасплавленных пород имеют умеренно-кислый состав с содержанием кремнекислоты около 64% и высоким содержанием калия около 7% (табл. 2.11).

Меланократовые гизингеритовые породы распространены в виде крутопадающих дайкообразных тел в центральной части структуры. Кроме того, они слагают трубкообразное тело до 800 м в диаметре на современном уровне среза, и диаметром до 100—150 м на уровне 780 м (Никольский, 1991). Макроскопически гизингеритовые тагамиты представле-

ны базальтоподобными черными плотными породами афанитового строения, на поверхности скола которых часто наблюдаются брекчиевые структуры. Изредка в породах сохранились реликты интенсивно оплавленных железистых кварцитов, а также кварца. Многочисленные поры заполнены тончешуйчатым гизингеритом. Матрица пород сложена также тонкозернистым гизингеритом, в котором наблюдаются игольчатые и тонкопризматические выделения моноклинного пироксена и игольчатые кристаллиты кварца, причем последние являются продуктом изменения тридимита (Масайтис и др., 1982). По данным этих исследователей, гизингеритовые породы возникли при ударном плавлении высокожелезистых пород средней свиты криворожской серии с последующей гизингеритизацией высокожелезистого стекла под действием горячих вод. Химический состав гизингеритовых пород (Вальтер, Рябенко, 1982; Масайтис и др., 1982) при содержании кремнекислоты, близком к ее содержанию в лейкократовых ударнорасплавленных породах, характеризуется высоким содержанием закисного и окисного железа при весьма низких содержаниях алюминия, кальция и щелочей (табл. 2.12).

Геологический возраст Терновской импактной структуры, в связи с отсутствием в ее мишени позднепротерозойских и фанерозойских пород, может быть определен только как послепротерозойский. В то же время произошла интенсивная эрозия кратера, при которой была полностью срезана не только верхняя часть структуры, заполненная комплексом кратерных осадков, но и большая часть разреза импактного комплекса пород. В связи с этим верхняя возрастная граница по геологическим данным также не может быть установлена.

К настоящему времени в различных лабораториях выполнены датировки ударнорасплавленных пород кратера калий-аргоновым методом. По данным (Вальтер, Рябенко, 1982), возраст стекловатых импактитов кратера составляет 280 ± 10 млн лет. Более древний возраст — 350 млн лет — принимается в работах (Никольский, 1991; Никольский и др., 1982) и может рассматриваться на настоящем уровне изучения структуры как время ее образования.