

УДК 528.88+551.439+553 (571.15)

Абушкевич С.А.<sup>1</sup>, Арестова Т.А.<sup>1</sup>, Волин К.А.<sup>2</sup> (1 — ООО «Лаборатория дистанционного прогнозирования месторождений полезных ископаемых», 2 — СПбГУ. Институт наук о Земле)

### ОПИСАНИЕ И РУДОПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИМПАКТНОЙ СТРУКТУРЫ УЛУГ-ТАЙГА (ВОСТОЧНЫЕ САЯНЫ)

*Приведены космогеологические признаки, строение и рудоперспективность импактной структуры Улуг-Тайга. Кольцевая структура, ранее не оцениваемая импактной, описывается как предположительно космического происхождения — астроблема. Рассмотрена ее возможная рудоперспективность. **Ключевые слова:** импактная структура, ударник, мишень, метеорит, Landsat, NDVI, NDWI, космоструктурное дешифрирование, космоспектральное дешифрирование, надвиги, рудоперспективность.*

Abushkevich S.A.<sup>1</sup>, Arrestova T.A.<sup>1</sup>, Volin K.A.<sup>2</sup> (1 — ООО «Laboratory of remote forecasting of mineral deposits», 2 — St. Petersburg State University. Institute of Earth Sciences)

### DESCRIPTION AND ORE POTENTIAL OF THE ULUG-TAIGA IMPACT STRUCTURE (EASTERN SAYANS)

*Remote sensing features, structure, and ore potential of the Ulug-Taiga impact structure are presented. The ring structure — previously not evaluated as an impact structure — is described as a supposably an astrobleme. Its possible ore potential is considered. **Keywords:** impact structure, impactor, target, meteorite, Landsat, NDVI, NDWI, structural and spectral remote sensing, thrusts, ore prospects.*

#### Введение

В данной работе представлены результаты космоструктурного и космоспектрального дешифрирования кольцевой структуры Улуг-Тайга (97°58'41,598" в.д. 54°3'55,493" с.ш.), которая по ряду морфологических и космогеологических признаков может быть отнесена к структурам космогенного происхождения (импактным) и, по мнению авторов, своим возникновением обязана контакту метеорита (ударника) с поверхностью Земли (мишенью). Описываемая структура названа нами по наименованию горы Улуг-Тайга, расположенной на северо-западной границе данной структуры. Структура не отмечена на существующих геологических картах масштаба 1:200 000 и 1:1000 000. В процессе дешифрирования материалов космической съемки выявлены космогеологические призна-

ки структуры Улуг-Тайга и прилегающей территории. Описываемая область может оказаться перспективной на наличие технических алмазов и золота. Изучение данной кольцевой структуры проводилось не только на основе материалов космической съемки, но и с привлечением открытых геологических карт масштаба 1:1 000 000 [2, 3] и 1:200 000 [5, 6].

Для космоструктурного и космоспектрального дешифрирования материалов космических съемок использовались разносезонные многоспектральные данные космической съемочной системы Landsat ETM+ и космические снимки высокого разрешения спутников WorldView-2, 3. На основе этих данных проведены:

1) космоструктурный анализ территории с использованием как поканальных, так и RGB-композиций космических снимков;

2) анализ спектральных характеристик растительного покрова по расчетным индексам NDWI<sup>1</sup> и NDVI [9].

#### Основная часть

Структура Улуг-Тайга является кольцевой по морфологии и находится на северо-восточных отрогах Восточных Саян, в верховьях р. Красный Ключ, левого притока р. Джугояко, являющейся правым притоком р. Малая Бирюса. Центром структуры является изометричное поднятие горы Улуг-Тайга с озерами на высоте 1 780 м. С юга от структуры расположен хребет Огнитский Белок северо-западного простирания.

Структура четко выявляется на космических снимках Landsat ETM+ (рис. 1). Ее морфологические особенности схожи со строением структур космического происхождения — астроблем [7].

Элементы строения структуры, указывающие на ее импактный характер:

- овальная форма, вытянутая в направлении с СЗ на ЮВ;
- центральное поднятие;
- фрагменты кольцевого поднятия;

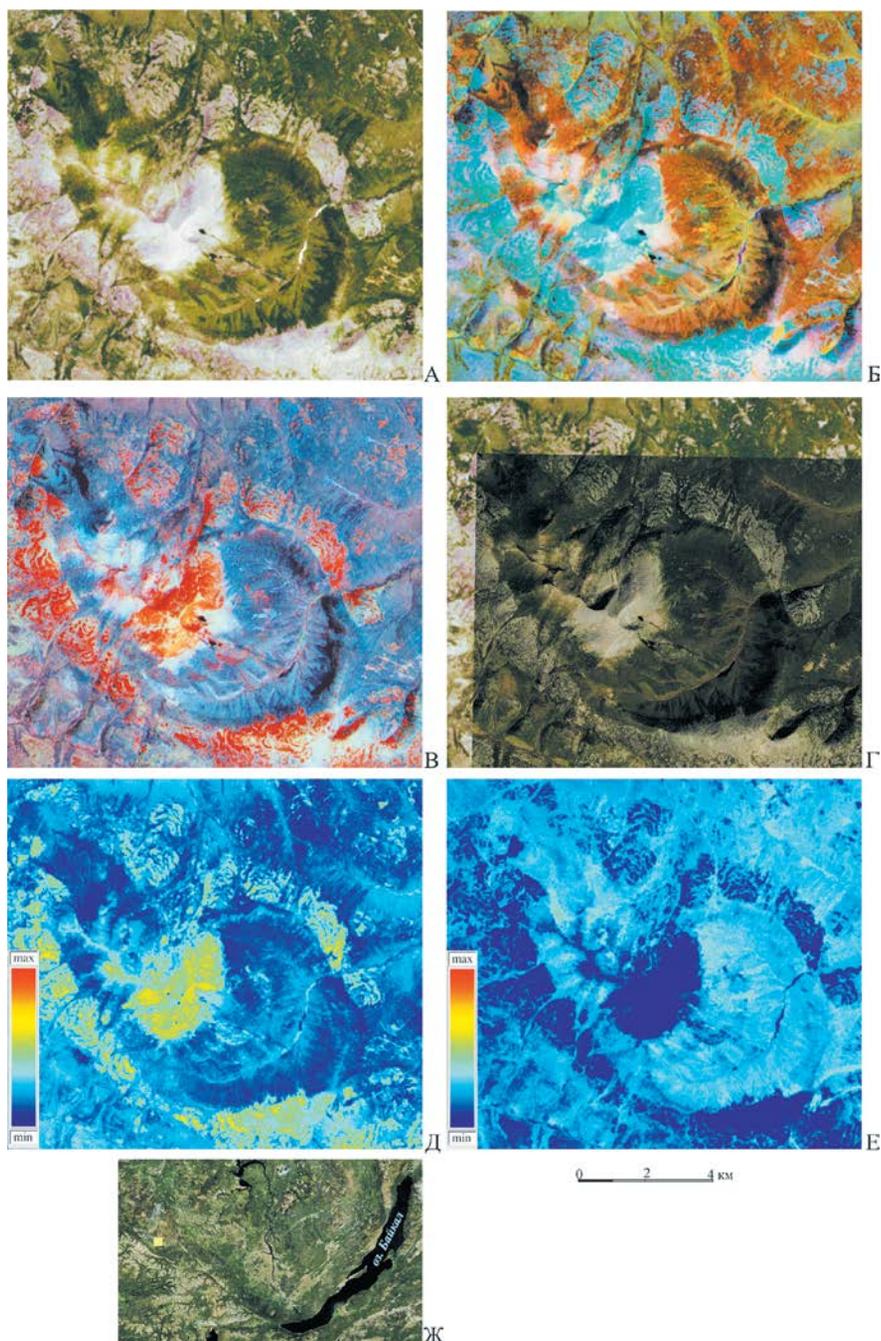
<sup>1</sup> NDWI. Нормализованный относительный индекс воды, представляет собой спутниковый индекс, полученный от спутниковых каналов в ближней инфракрасной (NIR) области спектра и в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра, и фиксирующий изменения по содержанию воды в растительности по губчатому строению мезофилла в растительном покрове и содержанию сухого вещества в листьях. Сочетание NIR с SWIR удаляет вариации, вызванные внутренней структурой листьев и содержанием сухого вещества в листьях, повышая точность в получении содержания воды в растительности [9]. Количество воды, доступной во внутренней структуре листьев, в основном управляет коэффициентом спектрального отражения в интервале SWIR электромагнитного спектра. Следовательно, отражение в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра отрицательно связано с содержанием воды в листе. NDVI. Нормализованный относительный индекс интенсивности фотосинтеза.

- кольцевой вал, хорошо выраженный на северо-востоке, востоке и юго-востоке структуры;
- закратерные выбросы;
- признаки закратерной зоны трещиноватости в виде серии радиальных разрывных нарушений в северо-восточной, восточной и юго-восточной частях структуры.

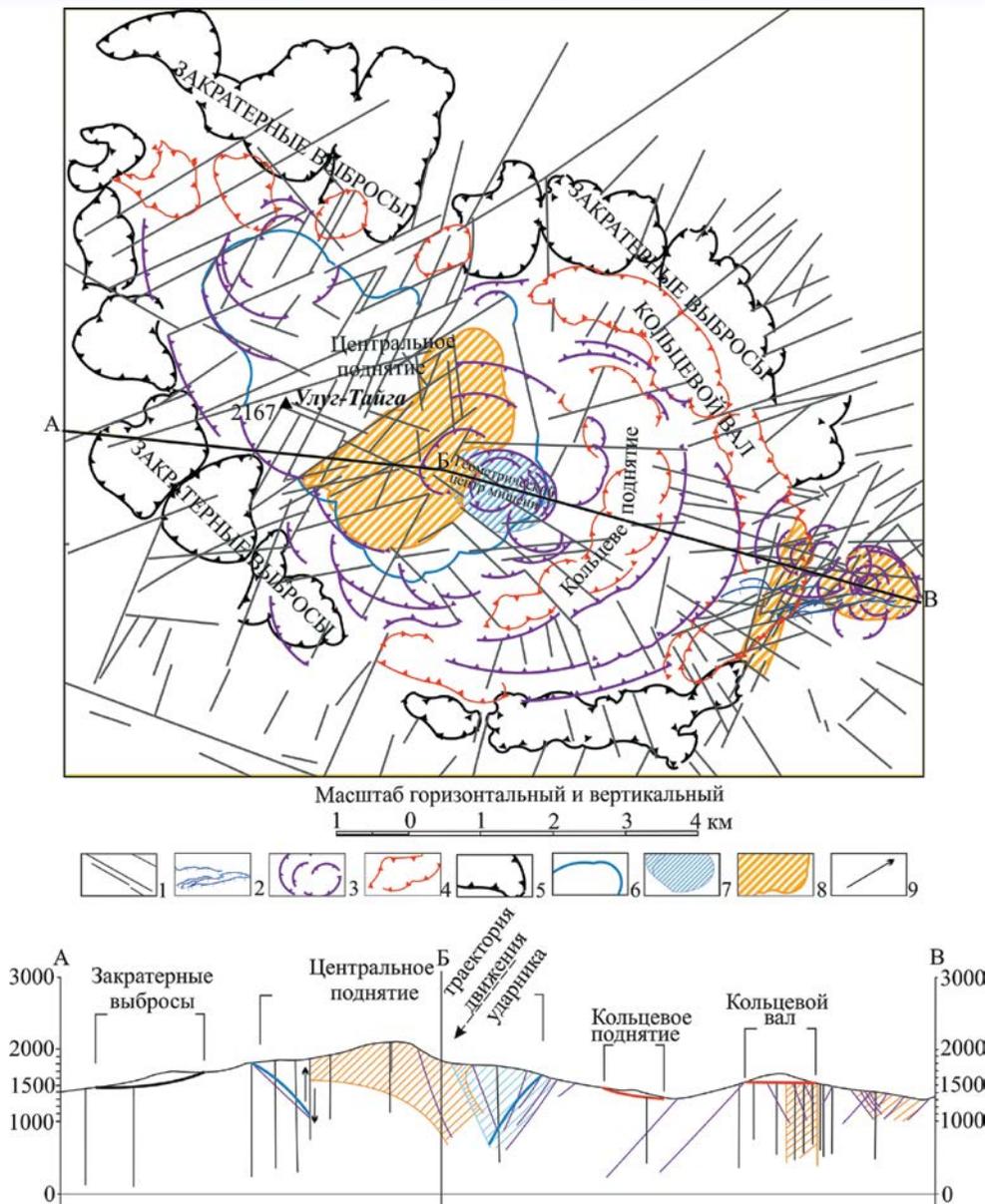
Структура хорошо сохранилась, имеет овальную форму в плане, вытянутую в северо-западном направлении. Она слабо эродирована, имеет сложное строение и довольно крупные размеры —  $12 \times 7,5$  км, относительная глубина кратера (от вала) — 300 м. Соотношение относительной глубины кратера к его усредненному диаметру составляет около 0,03, что типично [7] для кратеров сложного строения (рис. 2). Подобные по морфологическим характеристикам структуры имеются в Пермской области [8] и Прибалхашье [9].

*Центральная часть структуры Улуг-Тайга (центральное поднятие)* (рис. 2) представляет собой локальную возвышенность эллипсоидной формы, смещенную к северо-западу относительно геометрического центра кольцевой структуры, и вытянутую с юго-востока на северо-запад. Центральное поднятие возникло за счет упругой отдачи пород мишени, сжатых в момент удара. Предполагаемый угол падения ударника, судя по вытянутой форме структуры, составлял  $45\text{--}65^\circ$ , азимут направления движения метеорита  $340\text{--}350^\circ$ . Размеры центрального поднятия  $3,5 \times 5,5$  км. Предположительно основной контакт метеорита (ударника) с поверхностью Земли (мишенью) пришелся на участок в юго-восточной части центрального поднятия ( $97^\circ 58' 41,598 \text{ В}$   $54^\circ 3' 55,493 \text{ С}$ ) (рис. 2). Границы выхода на поверхность пород центрального поднятия на космоснимках определяются по смене фототона с белого на серый и специфическим фоторисунком поверхности, напоминающим рисунок структур течения, и, согласно данным топографической карты, находятся на отметках 1 750–1 800 м над уровнем моря. Подобный фоторисунок поверхности встречался и ранее, например, в метеоритных кратерах Казахстана [4]. Поверхность пород

большой части центрального поднятия покрыта редкой травянистой растительностью либо полностью лишена ее, что подтверждают и спектральные характеристики поверхности NDWI и NDVI. На отсутствие растительности большое влияние оказывает высотное расположение участка — выше 1 800 м над уровнем моря (рис. 1).



**Рис. 1. Отображение импактной структуры Улуг-Тайга на снимке спутника Landsat:** А — фрагмент RGB-композиции каналов 3, 2, 1 космоснимка ETM+ 20 июня 2001 г.; Б — фрагмент RGB-композиции каналов 4, 5, 3 космоснимка ETM+ 20 июня 2001 г.; В — фрагмент RGB-композиции каналов 7, 8, 4 космоснимка ETM+ 20 июня 2001 г.; Г — фрагмент снимка высокого разрешения сервиса Яндекс. Карты; Д — фрагмент NDWI космоснимка ETM+ 20 июня 2001 г.; Е — фрагмент NDVI космоснимка ETM+ 20 июня 2001 г.; Ж — желтым квадратом отмечено местоположение импактной структуры Улуг-Тайга на космоснимке среднего разрешения, в 500 км западнее озера Байкал



**Рис. 2. Схема дешифрирования импактной структуры Улуг-Тайга и линия разреза.** АБВ — линия разреза через центральное поднятие: разрывные нарушения: 1 — крутопадающие; 2 — пологопадающие (надвиги с юга); 3 — дуговые разломы кольцевых структур; 4 — контуры кольцевого поднятия и кольцевого вала; 5 — контуры закрастерных выбросов; 6 — контур центрального поднятия; 7 — предполагаемое место поиска алмазов; 8 — предполагаемое место поиска золота; 9 — направление движения блоков пород (на разрезе)

Породы юго-восточной оконечности центрального поднятия, площадью  $3,2 \times 1,8$  км, сильно осветлены и изменены, возможно, постмагматическими растворами молодых гранитоидов, активизировавшихся от удара в месте пересечения глубинных разломов северо-восточного и северо-западного простирания, проходящих через всю площадь и далеко за ее пределы и фиксирующихся по данным морфодешифрирования руслами рек [2, 3]. Фоторисунок гидротермально измененных пород центрального поднятия резко отличается от фоторисунка окружающих областей, имеет белый фототон, тонкую полосчатость, параллельную горизонталям рельефа. Северо-западная оконечность измененных пород центрального поднятия срезана се-

веро-восточной зоной разломов, таким образом северо-западный блок, контактирующий с измененными породами, взброшен на 300–350 м.

*Кольцевое поднятие структуры Улуг-Тайга*, расположенное между центральным поднятием и кольцевым валом, сохранилось фрагментарно в восточной и юго-восточной частях структуры. Оно представляет собой дискретные узкие возвышенные участки с относительным превышением в первые десятки метров. Наличие кольцевого поднятия или нескольких его фрагментов между кольцевым валом и центральным поднятием типично для астроблем сложного строения. Контур кольцевого поднятия, несмотря на его прерывистость и слабую выраженность в рельефе, хорошо выделяется на космоснимках и подчеркнут дуговыми разломами (рис. 1, 2).

*Кольцевой вал структуры Улуг-Тайга* хорошо выражен в ее восточной и юго-восточной частях. В виде отдельных фрагментов он дешифрируется в северной части структуры. Его ширина составляет 400–900 м, высота вала от дна кратера — 250–300 м. Залегание основания насыпных пород вала субгоризонтальное. Мощность насыпных пород кольцевого вала до 150 м. Породы, из которых состоит кольцевой вал, выделяются по массивному, редко полосчатому фоторисунку и серому фототону. Они выглядят слабо сцементированными, частично размытыми. Высотная отметка подошвы вала над уровнем моря — 1 450 м. Кольцевой вал сложен теми же породами, что и дно кратера, по геологическим данным — гранитами [2, 3, 5, 6]. Внешняя граница вала уверенно дешифрируется по смене фототона с темно-серого на светло-серый и фоторисунка с массивного на грубополосчатый, а также по перегибу склона у подножия вала с крутопадающего на пологопадающий (рис. 1, 3).

Предполагаемые *закратерные выбросы* практически полностью окружают структуру. Они дешифрируются по грубополосчатому фоторисунку. Подошва насыпных пород закратерных выбросов имеет падение от центра к периферии структуры (рис. 2). Ширина выбросов насыпных пород около одного километра. В отдельных случаях она доходит до 2,5 км при мощности до 200 м.

*Разрывные нарушения в пределах структуры Улуг-Тайга* связаны со столкновением ударника и мишени, с последующим их усложнением тектоническими подвижками.

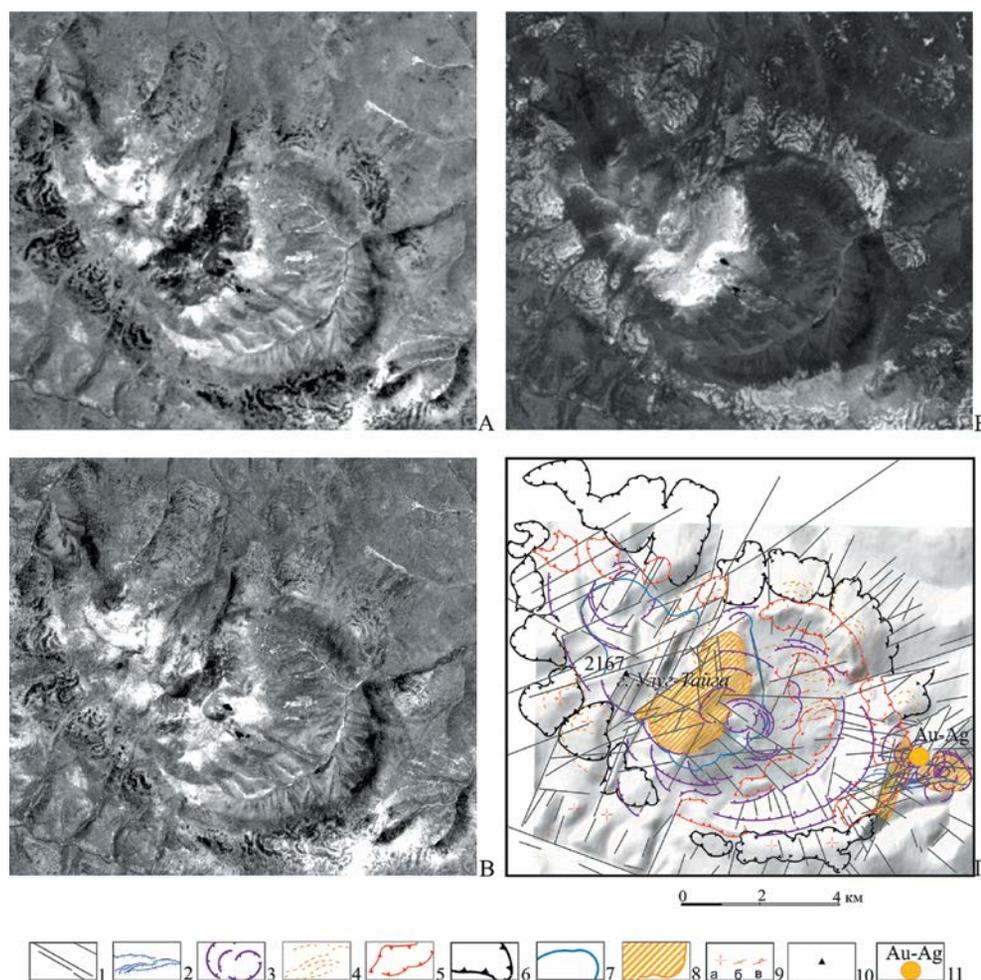
Линейные разломы имеют радиальный характер от центра к периферии, четко дешифрируются как внутри самой структуры, так и за ее периметром. В цент-

ральной части структуры радиальные разломы фиксируются практически повсеместно и равномерно. Они видны в бортах кольцевого вала, а также за пределами самой структуры, в юго-восточной ее части, где они, вероятно, маркируют *закратерную зону трещиноватости* (рис. 2). Породы мишени, выброшенные радиально вследствие удара метеорита, часто перекрывают мелкие разломы (рис. 2, 3 Г). На беслесной поверхности осветленных пород юго-восточной части центрального поднятия дешифрируются структурные линии в породах мишени, имеющие субмеридиональное, восток-северо-восточное и субширотное простирание. Без дополнительного изучения трудно сказать, чем они вызваны.

Дуговые разломы складываются в четкую кольцевую структуру. Визуально выделяются четыре уровня дуговых разломов от центра структуры. Первый уровень — с большим количеством дуговых элементов — имеет радиус 450–800 м. Радиус дуговых разломов второго уровня — около 1 500 м. Радиус третьего уровня — 2–2,5 км и четвертого — 3–3,4 км.

С точки зрения *рудоперспективности* астроблема Улуг-Тайга может оказаться весьма перспективной.

*Золото.* Удар метеорита пришелся практически в место сочленения разломов северо-восточного и северо-западного простирания, что могло привести к преобразованию пород мишени. В площадной гидротермальной проработке пород центрального поднятия могли быть задействованы гранитоиды, активизировавшиеся после удара метеорита. Этот процесс и его результат фиксируется по изменению фоторисунка пород мишени при совмещении каналов 7 и 8 либо каналов 4 и 8, что практически равноценно (рис. 3). Способ определения областей гидротермальной проработки пород по данным космической съемки подробно описан авторами для золоторудного месторождения Сентачан [1]. По опыту предыдущих работ



**Рис. 3. Результаты выделения гидротермально проработанных пород по данным космоснимка в каналах 4, 7, 8:** А — фрагмент космоснимка в канале 4 спутника Landsat ETM+ 20 июня 2001 г.; Б — фрагмент космоснимка в канале 7 спутника Landsat ETM+ 20 июня 2001 г.; В — фрагмент космоснимка в канале 8 спутника Landsat ETM+ 20 июня 2001 г.; Г — схема дешифрирования места падения метеорита в районе горы Улуг-Тайга, вынесенная на фрагмент детальной топоосновы OSM: разрывные нарушения: 1 — крутопадающие; 2 — пологопадающие; 3 — дуговые разломы кольцевых структур; 4 — структурные линии; 5 — контуры кольцевого поднятия и кольцевого вала; 6 — контуры предполагаемых закратерных выбросов; 7 — контур центрального поднятия; 8 — площадь гидротермально проработанных пород центрального поднятия, предположительно несущих золоторудную минерализацию; 9 — элементы залегания структурных линий: а — горизонтальное, б — нормальное, в — опрокинутое; 10 — вершина горы Улуг-Тайга; 11 — законсервированное мелкое по содержанию золота и среднее по содержанию меди полиметаллическое месторождение Ергожу

такие участки гидротермальных изменений, а также участки площадного окварцевания пород в совокупности со структурными критериями часто перспективны на наличие рудного золота небольших содержаний, но больших по запасам. Внутри импактной структуры шлиховое опробование не проводилось [5], а отсутствие шлихового золота за ее пределами [6] может говорить о еще неразмытых золоторудных породах. Таким образом, центр и юго-восточная часть центрального поднятия импактной структуры Улуг-Тайга могут содержать золото и быть перспективными при постановке поисковых работ на золото (рис. 2, 3).

Следует отметить, что законсервированные мелкое месторождение золота и среднее полиметаллическое месторождение Ергожу обрабатывались на юго-восточной территории, за пределами импактной структуры [2, 3]. Опираясь на результаты дешифрирования импактной структуры Улуг-Тайга, можно сделать вывод о том, что полезные ископаемые в этих месторождениях отработаны не полностью. Этот вывод основан на особенностях строения данной структуры. Вал, сложенный выброшенными гранитоидами, перекрыл юго-западную оконечность месторождения Ергожу, что могло быть одной из причин остановки разведочных работ и добычи золота. Рудные жилы следует искать под породами кольцевого насыпного вала, так как под них уходят северо-восточные и северо-западные разломы, которые прослеживались на месторождении. Авторы считают, что поисковые работы на золото следует продолжить на западных границах месторождения Ергожу под кольцевым насыпным валом. На схеме и на разрезе (рис. 2) эта площадь предполагаемых поисков золота, вытянутая в северо-восточном направлении, обозначена желтой штриховкой. На восточной оконечности импактной структуры дешифрируется четкая кольцевая структура диаметром 1,3 км, осложненная надвиговой структурой с юго-юго-восточным падением сместителя. Вблизи одного из радиальных разломов этой кольцевой структуры при отработке месторождения Ергожу уже велись поиски полезных ископаемых, и именно на участке, вытянутом вдоль северо-восточного радиального разлома (рис. 3). Работы на месторождении Ергожу были приостановлены при подходе к зоне надвигов, следовательно, мы предполагаем, что поисковые работы на золото следует продолжить под аллохтоном на юг и юго-восток в пределах кольцевой структуры (рис. 2, 3).

**Алмазы.** Перспективной зоной поиска технических алмазов может являться район подошвы центрального поднятия в его юго-восточной части, где хорошо дешифрируется область предполагаемого контакта метеорита с поверхностью Земли и область термодинамических изменений. С меньшей вероятностью поиск алмазов можно вести на всей площади импактной структуры. На алмазоносность данную структуру следует рассматривать только при наличии высокоуглеродистых ксенолитов в гранитах в месте удара метеорита (рис. 2).

## Выводы

1. Кольцевая структура Улуг-Тайга имеет импактное происхождение, на которое указывает ее типичное для импактных структур морфологическое строение, а также фотохарактеристики слагающих ее пород, заметно отличающиеся по фототону и фоторисунок от окружающих пород.

2. По глубинным разломам активизируются молодые гранитоиды, несущие гидротермы, и происходит площадная гидротермальная проработка пород мишени, особенно пород, образовавшихся в центре структуры в результате упругой отдачи, после контакта ударника и мишени.

3. Основные возможные полезные ископаемые импактной структуры Улуг-Тайга — золото и алмазы.

4. Для окончательного подтверждения вывода о генетическом происхождении данной структуры необходимы полевые исследования, в том числе направленные на выявление в изучаемом районе геофизических аномалий, ударно-метаморфических пород, специфических высокобаричных минералов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкевич, С.А. Поиски золоторудных объектов на основе спектральных характеристик космических снимков Landsat и WorldView-1 (месторождения Сентачан и Полярник, республика Саха) / С.А. Абушкевич, К.А. Волин // Вестник Санкт-Петербургского университета. — Сер. 7. — 2014. — Вып. 2 — С. 82–92.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации (новая серия). Масштаб 1:1000 000. Карта полезных ископаемых N-46, (47) (Абакан) / В.К. Зуев, Л.А. Маркович, В.В. Перфильев // ФГУП «Красноярскгеолсъемка». Картографическая фабрика ВСЕГЕИ — 2000.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Ангаро-Енисейская серия. Карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых N-47 (Нижнеудинск) / Т.Ф. Галимова, А.Г. Пашкова // ФГУП «ВСЕГИ», ФГУНПП «Иркутскгеофизика». Картографическая фабрика ВСЕГЕИ — 2012.
4. Зейлик, Б.С. Космогенный кратер Арганаты и сопряженные с ним кольцевые структуры (Южный Казахстан) / Б.С. Зейлик // Докл. АН СССР. — 1987. — Т. 297. — № 4. — С. 925–928.
5. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-47-XIV / А.Н. Рассказчиков, Л.М. Серебряков // Главное управление геодезии и картографии Государственного геологического комитета СССР — М., 1965.
6. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-47-XV / Л.П. Рик, П.В. Дубин, В.И. Рожковский // Министерство геологии и охраны недр СССР. Иркутское геологическое управление — М., 1959.
7. Фельдман, В.И. Импактитогенез: Учеб. пособие / В.И. Фельдман, Л.И. Глазовская. — М.: КДУ, 2018.
8. Харитонов, Т.В. Ашпская кольцевая структура / Т.В. Харитонов, Д.Д. Бадюков // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 13. Сб. научных статей. — Пермь: ПГУ, 2010.
9. Хрянина, Л.П. Геологическое строение кратера Шунак (Прибалхашье) и признаки метеоритного удара в нем / Л.П. Хрянина, Б.С. Зейлик // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1980. — № 3. — С. 124–134.
10. Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, et al // Remote Sensing of Environment. — 2001. — № 77. — P. 22–33.

© Абушкевич С.А., Арестова Т.А., Волин К.А., 2021

Абушкевич Сергей Антонович // niicosm\_as@mail.ru  
Арестова Татьяна Альбертовна // t.a.arestova@mail.ru  
Волин Кирилл Артемович // k.volinn@spbu.ru