

УДК 60:551.7

DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-48-60

ВОСТОЧНО-ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ АСТРОБЛЕМА**EAST TRANSBAIKAL ASTROBLEME**

Ю. В. Павленко, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pavurva@mail.ru

Yu. Pavlenko, Transbaikal State University, Chita

В сравнении с крупнейшей на планете астроблемой Вредефорд (50 км²) представлена Восточно-Забайкальская астроблема (90 км²). Изучение астроблем продолжается в течение 135 и 345 лет соответственно. Актуальность исследований заключается в целесообразности разработки оригинальной научной проблемы – триггер-фактора эндогенного оруденения крупного горно-рудного региона России. Объектом исследований является земная кора Юго-Восточного Забайкалья до глубины 15...20 км, кольцеобразно-блоковое строение которой прямо указывает на формирование импактной структуры, а предметом – особенности глубинного строения рудоносной структуры. Цель исследования – научно обосновать генетические типы оруденения. Основная решаемая задача – закономерности пространственного размещения рудных объектов разных рангов. Обе импактные структуры протерозоя сравнимы по размерам, представлены уникальными уран-золоторудными гидротермально-метасоматическими месторождениями провинции Витватерсранд и многочисленными мультиметалльными месторождениями 45 рудных формаций Юго-Восточного Забайкалья – производными соответственно импактно-гидротермального (Витватерсрант) и импактно-магматического, импактно-гидротермально-импактно-метаморфического генетических типов. Существенные различия рудных провинций обусловлены особенностями геологического строения регионов и проявлением в Забайкалье процессов мезозойской океанизации земной коры, с которыми связана основная рудная минерализация. В забайкальской астроблеме рудовмещающей является система из девяти флюидопроницаемых зон, развитых на основе импактных разрывов. Аномально большой глубиной и проницаемостью для рудоносных растворов являются участки пересечения, сочленения зон. В них локализовано оруденение в ранге рудных районов (структуры четвертого порядка), рудных узлов (структуры пятого порядка), рудных полей и месторождений (структуры соответственно шестого и седьмого порядков)

Ключевые слова: астроблемы Вредефорд и Юго-Восточного Забайкалья; импактная структура; глубинное строение земной коры; генетические типы месторождений; океанизация земной коры; флюидопроницаемые зоны; эндогенное оруденение; Забайкальский край; ЮАР; горно-рудный регион

In comparison with the largest astroblem on the planet Vredeford (50 km²) the East Transbaikal astroblem (90 km²) is presented. The study of astroblems continues for respectively 135 and 345 years. The *relevance* of the research is the feasibility of the development of the original scientific problem - the trigger factor of endogenous mineralization of a large mining region of Russia. The *object* of the study is the Earth's crust of South-Eastern Transbaikalia to a depth of 15-20 km, the ring-block structure of which directly indicates the formation of impaction structure, and the *subject* - the features of the deep structure of ore-bearing structure. The *aim of the study* is genetic types of mineralization, and the main task to be solved is the regularities of spatial location of ore objects of different ranks.

Both impact Proterozoic structures are comparable in size, represented by unique uranium-gold hydrothermal-metasomatic deposits of the Vitvatersrand Province and numerous multi-metal deposits of 45 ore formations of South-Eastern Transbaikalia - derivatives of respectively impact-hydrothermal (Vitvatersrand) and impact-magmatic, impact-hydrothermal, impact-metamorphic genetic types. Significant differences of ore provinces are due to the peculiarities of the geological structure of the regions and manifestation in Transbai-

kalia of the processes of Mesozoic oceanization of the Earth's crust, with which the main ore mineralization is associated. The system of 9 fluid-permeable zones developed on the basis of impact fractures is ore-bearing in the Transbaikalian astrobleme. Abnormally high depth and permeability for ore-bearing solutions are areas of intersection, junction zones. They contain localized mineralization in the rank of ore districts (structures of the fourth order), ore knots (structures of the fifth order), ore fields and deposits (structures of the sixth and seventh orders, respectively)

Key words: Vredeford and Southeastern Transbaikalia astroblems; impact structure; deep crustal structure; genetic deposit types; crustal oceanization; fluid-permeable zones; endogenous mineralization; Transbaikalia; South Africa; mining and ore region

Чтобы понять процесс, нужно иметь теорию
Теория, в сущности, и «организует» факты.
В. В. Леонтьев

«...найти нечто, оставившее след на чем-то,
что когда-то было»
Уильям Фолкнер

Введение. АстроBLEMA – рана, нанесённая Земле космическим телом при ударе о поверхность земной коры. На месте столкновения космических объектов образуются импактные (ударные) кратеры – оригинальные разномасштабные геологические структуры дробления, плавления, испарения, конденсации, регенерации, кристаллизации и других, ещё недостаточно изученных преобразований природы, связанных с космогенной энергией [5; 11; 12; 14; 22]. Ударная энергия столкновения земной коры с крупным астероидом сопоставима с катастрофическим землетрясением [8], крупнейшим ядерным взрывом, крупным вулканическим извержением. При этом породы кратера, согласно В. Пустынскому (1999), существенно меняют свои геологические характеристики, проявляя свойства жидкости, плавленого вещества, подвержены испарению, перекристаллизации, дроблению, брекчированию

до глубины не менее 20 км в радиусе более 500 км. На границе XX и XXI вв. наряду с осадочными, магматическими и метаморфическими типами выделен импактный генетический вид горных пород, открытие которого составляет выдающееся достижение мировой геологической науки [20].

Крупные импактные события способны вызвать пожары, катастрофические цунами, являются причиной массовых вымираний животных, растительности, а также рудогенерирующим фактором образования месторождений мирового уровня.

На нашей планете известно около 300 астроBLEM и небольших метеоритных кратеров, которые распределены неравномерно [17]. Различают астроBLEMы небольшие (диаметром до 5 км) чашеобразные и более сложные (диаметром более 15 км) с центральным и кольцевым поднятием (рис. 1).



Рис. 1. Схема строения сложного метеоритного кратера (астроBLEMы): 1 – породы мишени; 2 – зона трещин в породах мишени (аутигенные брекчии); 3 – расплавленные импактиты (тагамиты, стёкла, шлаки); 4 – аллогенные брекчии и зювиты; 5 – разрывные нарушения [20] / Fig. 1. Diagram of a complex meteorite crater structure (astroblems): 1 – target rocks; 2 – crack zone in target rocks (autigenic breccias); 3 – molten impactites (tagamites, glasses, slags); 4 – allogeneic breccias and zovites; 5 – discontinuous disturbances [20]

Округлая или вытянутая форма астроблемы в плане зависит от угла встречи космического тела с поверхностью Земли. Внутри кратера находятся перекрытые осадками импактиты (импактные брекчии и расплавленные импактиты), возникшие при последующем после удара взрыве. Под кратером расположена зона импактных трещин, разломов. Возраст астроблем – от 2,5 млрд лет до наших дней [10; 23; 25].

Ударно-взрывные структуры представляют гигантские химические резервуары-реакторы с мощными процессами, образующими уникальные рудные провинции. Источником рудного вещества месторождений является литосфера, а ремобилизация и масштабная концентрация компонентов реализуется путём плавления, метаморфизма, формирования гидротерм, флюидных систем, вызванных выделением огромной энергии.

В геологической литературе описаны самые крупные (более 100 км в диаметре), наиболее значимые астроблемы, с которыми в истории Земли связаны обильные вулканические извержения, обширные трапповые формации, магматические провинции и многочисленные месторождения Au, Ni, Cu, Pb, Zn, Hg, алмазов, других, часто полиминеральных руд, а также нефти и газов [2; 6; 7; 9; 18; 19; 21; 22; 24]. Факты каждой астероидной бомбардировки Земли уточняют устойчивые взгляды на взаимодействие Земли с окружающим пространством.

Актуальность исследования заключается в целесообразности разработки оригинальной научной проблемы – впервые выделенной в Восточном Забайкалье гигантской астроблемы – триггер-фактора эндогенного оруденения крупного горно-рудного региона России¹.

Объектом исследований является земная кора Юго-Восточного Забайкалья, кольцеобразно-блоковое глубинное строение до глубины 15...20 км которой прямо указывает на формирование импактной структуры.

Предмет исследования – особенности глубинного строения структуры, определяющие формирование оруденения.

Цель исследования – генетические особенности оруденения. Основная решаемая задача – выявить закономерности простран-

ственного размещения рудных объектов разных рангов.

Методологическим инструментом решения проблемы являются значимые закономерные связи между процессами и явлениями реальной действительности, основные положения которой познаются системами методов, средств, приёмов, методик. Используются электронная база данных Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 [3; 4], компьютерные технологии, рудно-геохимическая, геофизическая, геохимическая, геологическая информация, карты полезных ископаемых масштаба 1:200 000, петрофизические данные. Для изучения глубинного строения ВСЕГЕИ создана сеть интерпретационных профилей протяжённостью 7500 км, составлены 23 плотностных разреза, карта глубинного строения масштаба 1:1 000 000 и дополнительные графические документы [16].

Первые результаты геофизических исследований глубинного строения Г. И. Менакера [15], Г. А. Генко и Ю. А. Фалипченко (1996), а также А. А. Духовского и др. [4; 16] выявили различия в моделях строения фундамента геоблоков разного ранга, морфологии массивов магматических пород и крупных разрывных нарушений. Они отметили неоднозначно оценённую связь оруденения с нескрытыми интрузиями и элементами структуры фундамента. Методика ВСЕГЕИ отличается направленностью на обнаружение новых минерагенических объектов в ранге рудных узлов, их большой детальностью, глубоким геологическим истолкованием всех геофизических построений с максимальным приближением к прямым геологическим наблюдениям. В систематике прогнозирования глубинные исследования дают 40...50 % новой информации [16].

Результаты исследований и их обсуждение. При создании Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 третьего поколения [3; 4] сделан крупный шаг к познанию глубинного строения региона. В разрезе земной коры выделен слоисто-блоковый раннедокембрийский кристаллический фундамент, на котором залегают образования рифея-фанерозоя разного состава и генезиса верхнего структурного этажа. До глуби-

¹ Павленко Ю. В. Глубинное строение и минерагения Юго-Восточного Забайкалья: монография. – Чита: ЧитГУ, 2009. – 200 с.

ны 15...20 км на долю образований верхнего этажа приходится не более 1/4 земной коры, при этом здесь развиты крупные останцы, тектонические пластины, выступы пород фундамента [16].

В кристаллическом фундаменте выделены три комплекса («слоя»): гранулит-базитовый – ГБС ($\sigma = 2,90...3,05$ г/см³), гнейсодиоритовый – ГДС ($\sigma = 2,80$ г/см³) и гнейсогранитовый – ГГС ($\sigma = 2,70$ г/см³). ГБС сложен преимущественно гранулитами основного состава и эклогитами. ГДС и ГГС – продукты переработки (гранитизации) гранулит-базитовой протокры, представлены диафорированными гранулитами, эндебитоидами, чарнокитами, бластотектонитами, амфиболитами (ГДС) и гнейсогранитами, гнейсогранодиоритами, теньвыми мигматитами, плагиогнейсогранитами (ГГС).

Кристаллический фундамент ещё в раннедокембрийское время по системе зон глубинных разломов разбит на мегаблоки и блоки сложной формы различных размеров, в которых неравномерно проявлена региональная гранитизация. Продукты гранитизации верхней мантии характеризуют, вероятно, астеносферное поднятие и зону кайнозойской активизации повышенной сейсмичности [15]. Эта долгоживущая зона связана с продолжительными преобразованиями земной коры, формированием полихронных глубинных структур очагового типа, магматических, вулканогенных комплексов и разнообразных полезных ископаемых (рис. 2).

В гранитизированных мегаблоках кристаллическая кора «слоистая» с переменной мощностью «слоёв», максимальное количество которых – три. Глубинные поверхности раздела «слоёв» имеют простую или достаточно сложную форму с резкими или постепенными переходами. Характерны пологие тектонические перемещения блоков нижележащих пород, которые аллохтонно залегают на блоках вышележащих. Вертикальные размеры мегаблоков традиционно ограничиваются поверхностью Мохо (35...45 км, редко – до 50 км).

В Юго-Восточном Забайкалье геофизическими исследованиями масштаба 1:200 000 до глубины 10...15 км выделены 14 мегаблоков с глубиной залегания ГДС (диорит-метаморфиты, ДМС) 0...3; 5...6; 8...10 км, которые образуют концентрически

зональную структуру блоков вокруг самого глубокого и самого крупного Газимурского мегаблока. В этой структуре от эпицентра к периферийным мегаблокам кровля ДМС ступенеобразно воздымается. Блоки с различной глубиной проработки земной коры процессами метасоматического гранитообразования контактируют по «ступеням». От внешней границы кольца, образованного выступами ДМС, кровля слоя вновь погружается (за пределами листа М-50).

Большинство интрузивов, сложенных породами кислого состава, находится в областях гранитизации, а интрузивов среднего и основного состава – большей частью в поясах преобладания блоков ДМС. Многие гранитоидные интрузивы «выстраиваются» в протяжённые линейные цепи, подчёркивая положение глубинных секущих магмопроницаемых зон. Позднемезозойские впадины тяготеют к границам преимущественно архей-протерозойских выступов. Они накладываются на более ранние синклиналильные складки, впадины или располагаются на их продолжении, формируя пересекающиеся и сопрягающиеся депрессионные зоны.

Модель ВСЕГЕИ позволяет выявить новые минерагенические особенности региона, уточнить глубины зарождения рудоносных магматических очагов, особенности распространения эндогенной минерализации в крупных геологических структурах земной коры. В этой модели (рис. 3):

- выделены площадная гравитационная структура II порядка – Восточно-Забайкальский арал-плутон (30 000 км²), мощность ГГС которого нарастает от периферии к центру (до 11 км); зона обрамления арал-плутона шириной 70...140 км с мощностью этого слоя 0...4 км; площадные гравитационные структуры III порядка зоны обрамления с увеличенной мощностью ГГС (подошва на 6...8 км), которые выглядят «отростками» арал-плутона, развитыми по ослабленным зонам;

- арал-плутон тектонически ограничен разломами, плоскости которых направлены к центру. По осевой части северо-восточной структуры развита зона интенсивной гранитизации, сопровождаемая протяжёнными субсогласными тектоническими нарушениями;

- фундамент разбит на шесть призматических блоков, Кукульбейский и Газимурский блоки занимают около 50 % объёма арал-плутона;

– на глубине 5 км относительно регулярные линейные структуры гранитизации широтного-северо-восточного и меридионального-северо-западного направлений рассматриваются как крупные тектонические зоны раннепротерозойской активизации (деструкции) фундамента, на пересечении которых формировался ареал-плутон (пеллокальдера?);

– установлено, что ареал-плутон формировался в раннем докембрии, он неод-

нократно активизировался по структурам раннедокембрийского кристаллического фундамента. В верхнем структурном этаже преобладают магматогенные образования, а стратифицированные комплексы всех возрастов тектонически расслоены. Они слагают тектонические пластины, блоки высотой до 2 км, а крупные вулканические структуры средней-поздней юры характеризуются вертикальными размерами до 1 км.

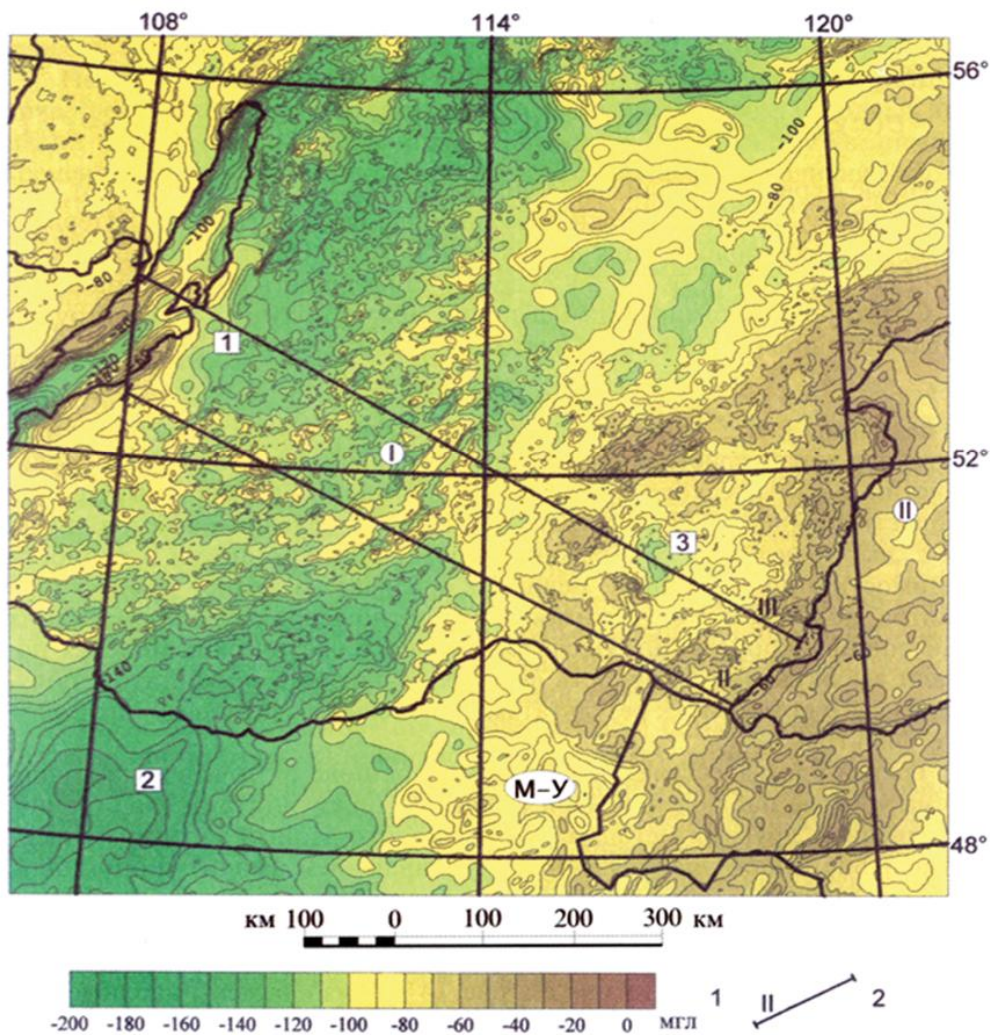


Рис. 2. Гравитационная карта Забайкалья в редукции Буге (наблюдённые значения Δg). Сечение изоаномал 10 мгл. Составили А. И. Атаков и Д. Н. Панфильцев: 1 – шкала раскраски; 2 – линии профилей, по которым построены графики наблюдаемых и трансформированных значений Δg ; 1...3 – аномалии второго порядка: 1 – Ангаро-Витимская; 2 – Даурская; 3 – Восточно-Забайкальская [16] / Fig. 2. Gravity map of Transbaikalia in the Bug reduction (observed values of Δg). The isoanomal cross section is 10 mgl. Compiled by A. I. Atakov and D. N. Panfil'tsev [95]: 1 – colouring scale; 2 – profile lines, according to which graphs of the observed and transformed values of Δg are constructed; 1...3 – anomalies of the second order: 1 – Angara-Vitim, 2 – Daurian, 3 – East Transbaikal [16]

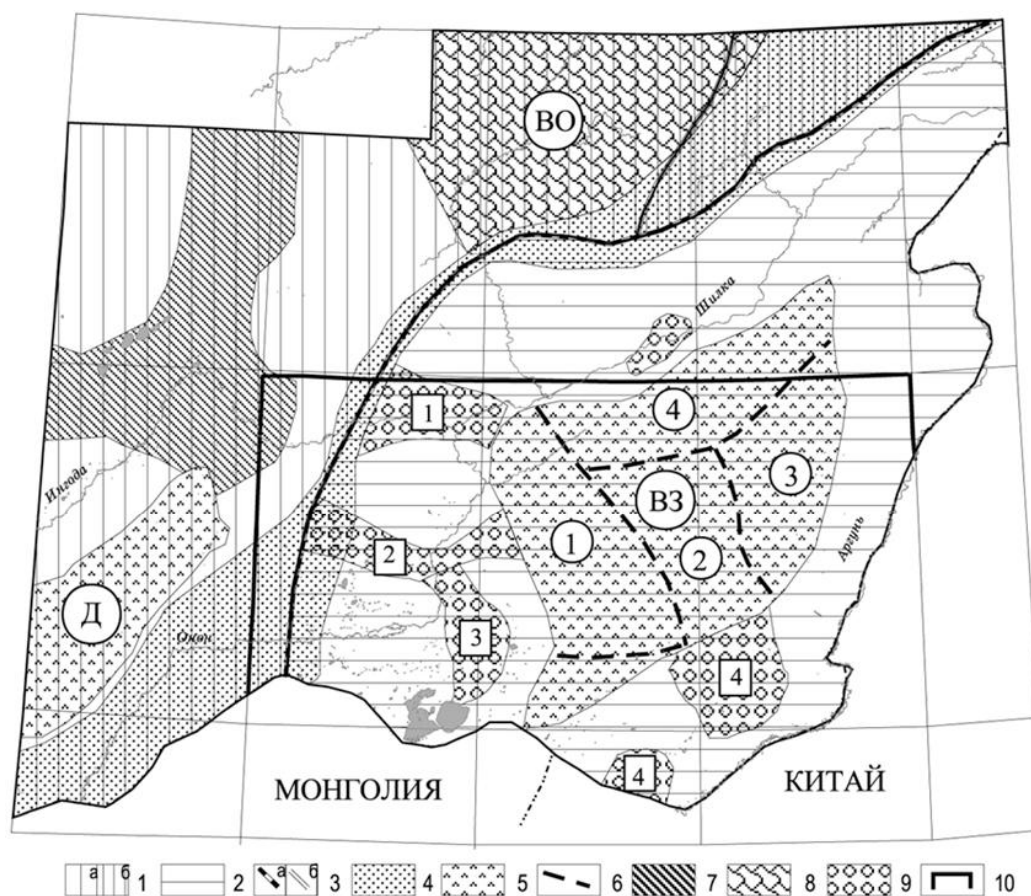


Рис. 3. Схема структурного районирования раннедокембрийского кристаллического фундамента земной коры (на уровне 5 км среза) [16]:

Мегаблоки с разным составом и строением раннедокембрийского кристаллического фундамента.

- 1 – Байкало-Становой, характеризующийся практически сплошным развитием гнейсогранитного комплекса («слоя») значительной мощности: а – забайкальское звено с глубиной залегания подошвы слоя 8...14 км; б – Алдано-Становое звено – 6...8 км; 2 – Аргуно-Верхнеамурский, характеризующийся ограниченным развитием гнейсогранитного «слоя»; 3 – тектонические границы между блоками (а) и звеньями (б); 4 – проекция плоскости сместителя разлома, разделяющего мегаблоки на уровне пятикилометрового среза (Монголо-Удский глубинный шов). Внутрimeгаблочные структуры: 5 – ареал-плутоны гранитоидного состава (полхронные очаговые структуры): Д – Даурский с однородным внутренним строением глубоких частей, ВЗ – Восточно-Забайкальский со сложным блоковым внутренним строением; 6 – границы блоков Восточно-Забайкальского ареал-плутона; цифры в кружках – номера блоков: 1 – Кукульбейский; 2 – Верхнегазимурский; 3 – Ундино-Солинский; 4 – Новоширокинский; 7 – Верхнехилокская зона смятия; 8 – Верхнеолекинский блок с повышенной мощностью гнейсогранитового «слоя» (до 10,5 км); 9 – очаговые и линейные зоны гранитизации; цифры в квадратах – номера зон: 1 – Завитинская; 2 – Орловско-Оловянинская; 3 – Шерловогорская; 4 – Заурулюнгуйская; 10 – контур площади листа М-50 (Юго-Восточное Забайкалье) /

Fig. 3. Scheme of structural zoning of the Early Precambrian crystalline basement of the Earth's crust (at the level of a 5 km section) [16]:

- Megablocks with different composition and structure of the Early Precambrian crystalline basement. 1 – Baikol-Stanovoy, characterized by almost continuous development of the gneissogranite complex ("layer") of considerable power: а – the Transbaikalian link with a depth of the sole of the layer of 8...14 km; б – the Aldano-Stanovoy link – 6...8 km; 2 – Argun-Verkhneamursky, characterized by limited development of the gneissogranite "layer"; 3 – tectonic boundaries between blocks (а) and links (б); 4 – projection of the plane of the fault displacer separating the megablocks at the level of a five-kilometer section (Mongol-UD deep seam). Intramegablock structures: 5 – areal-granitoid plutons (polychronous focal structures): D – Daurian with a homogeneous internal structure of deep parts, VZ – East Transbaikalian with a complex block internal structure; 6 – boundaries of blocks of the East Transbaikalian areal-pluto; numbers in circles – block numbers: 1 – Kukulbeisky, 2 – Verkhnegazimursky, 3 – Undino-Solinsky, 4 – Novosheirokinsky; 7 – Verkhnehilokskaya crumpling zone; 8 – Verkhneolekminsky block with increased capacity of the gneissogranite "layer" (up to 10.5 km); 9 – focal and linear granitization zones; numbers in squares – zone numbers: 1 – Zavitinskaya; 2 – Orlovsko-Olovyanninskaya; 3 – Sherlovogorskaya; 4 – Zaurulunguyskaya; 10 – contour of the leaf area M-50 (Southeastern Transbaikalia)

Структура блоков и астроблемы в целом в течение длительного периода преобразования различными процессами существенно усложнялась. К ним относятся и наложенные более молодые импактные структуры, отмеченные М. С. Машак [13], Ю. С. Шевченко (1996), а в прилегающих районах Забайкалья Д. С. Ключаревым (2004), В. М. Яковлевым (2003) и др. [17].

В Юго-Восточном Забайкалье установлено более 130 разновозрастных геологических формаций, в том числе 18 рудогенерирующих и рудообразующих, поэтому минерагенические факторы и рудные формации представляют исключительно сложную, неоднозначно интерпретируемую информацию (Павленко, 2009) [3; 4]. Многократные тектонические перестройки, интенсивные плутонические, метаморфические и метасоматические процессы существенно и неравномерно изменили первоначальный состав пород, руд и особенно их геохимические ассоциации, а также уровни накопления химических элементов. Они обеспечили неоднократную регенерацию, переотложение ранней рудной минерализации. Рудные образования домезозойских этапов, вероятно, сохранились лишь частично или вообще «распылились». Эндогенная минерализация представлена 45 рудными формациями практически всех генетических групп месторождений, исключая карбонатитовую и колчеданную (там же).

Прямые признаки импактного кратера вполне сопоставимы с крупнейшим на планете кратером Вредефорт на юге Африки. Восточно-Забайкальская астроблема и астроблема Вредефорт, несомненно, относятся к уникальным космогоническим объектам. Кратеры близки по возрасту (протерозой), размерам кратера (диаметр 250...350 км) и значимости удивительных генетических преобразований минерального вещества земной коры в формировании месторождений мирового уровня под воздействием импактной энергии, в 2005 г. кратер Вредефорт включён в Перечень объектов Всемирного Наследия ЮНЕСКО.

За период не менее 2 млрд лет эти структуры существенно изменены эндогенными, экзогенными и прочими процессами, значительная часть кратера Вредефорт уничтожена процессами выветривания в юго-восточной части, породы которой, по-видимому, менее подверглись ударному воздействию крупней-

шего астероида диаметром около 10 км. Астероид, вероятно, двигался с юго-востока под острым углом к поверхности Земли, отчего на этом фланге кратера ударное воздействие было преимущественно скользящим. Вредефорт является самым относительно хорошо изученным крупным кратером на Земле.

Астероид, формировавший Восточно-Забайкальский кратер, был, вероятно, более крупным, двигался также с юго-востока (?) и встретился с Землёй под более тупым (60...80 °?) углом в районе современного посёлка Калангуй. Недавнее землетрясение в этом районе указывает на его продолжающуюся эндогенную активность, а выходы газов на поверхность – на высокую проницаемость разрывных структур (Флешлер, 2000).

С этими астроблемами связаны крупнейшие горно-рудные регионы планеты – уран-золоторудная провинция Витватерсранд и золота – полиметаллически – флюорит – урановая Аргунская и Агинская субпровинции Монголо-Забайкальской минерагенической провинции [4] Провинция Витватерсранд (около 100 месторождений на 16 стратиграфических уровнях) занимают площадь около 50 тыс. км², образуя крупную мульду (прогиб), вытянутую в северо-восточном направлении на 500 км при ширине около 100 км. Овалообразная площадь субпровинций Забайкалья составляет около 90 тыс. км². Главные промышленные площади провинции Витватерсранд представлены семью рудными районами, в которых действовали 12 крупных рудников, или 40 шахтных полей, именуемых отдельными месторождениями. В забайкальских субпровинциях выделены три минерагенических зоны (области) с 14 рудными районами и 200 крупными, средними и мелкими месторождениями 22 видов полезных ископаемых.

Эндогенное оруденение горно-рудных регионов астроблем различаются генезисом. Различие во многом обусловлено особенностями геологического строения импактных мишеней на планетарном уровне.

Гидротермально-метасоматические месторождения Витватерсранда (пласты плотно сцементированных кварцем брекчиевидных «галечников-конгломератов» возраста 1,9 млрд лет) сформированы в мезозоне земной коры, куда посредством флюидов «со значительной глубины из одного источника и в течение длительного времени поступали золото, серебро, уран» [21]. Глубинная энер-

гетика Восточно-Забайкальских мультиметалльных месторождений более сложная – полигенетическая. По Б. А. Малькову (2006), генезис эндогенных рудных объектов может трактоваться и импактно-магматическим, и импактно-гидротермальным (триггерным), и импактно-метаморфическим. Эндогенная минерализация представлена 45 рудными формациями практически всех генетических групп месторождений, исключая карбонатитовую и колчеданную. С многочисленными рудоносными магматическими комплексами гидротермальная минерализация ассоциируется максимум в 45 % случаев, что свидетельствует о парагенетической связи оруденения с этими комплексами либо о телетермальной его природе. Поскольку возраст оруденения насчитывает не один десяток – сотни миллионов лет, структурный план субпровинций формировался в ходе многочисленных этапов тектономагматической активизации. В целом, он непременно унаследовал морфологию взрывных блоков и линейных структур, а по сути, геодинамические особенности импактной структуры как триггер-фактора или корневой системы.

В течение почти 2 млрд лет первичная морфология Восточно-Забайкальской импактной структуры существенно изменена тектоническими и изостатическими процессами в сторону контрастного блокового усложнения. Дополнительно образованы и видоизменены мощные тела расплавленных трением пород мишени, особенно в зонах ударных разломов, амплитуды смещений по которым (сотни метров) значительно превысили амплитуды эндогенных разломов. Корневые части линзовидных, чечевицеобразных, пластинообразных, редко штокообразных тел наиболее рудоносных шахтаминского, акатуйского, борщёвочного и кукульбейского комплексов с суммарными вертикальными размерами 3...6 км уходят в интенсивно гранитизированные структуры фундамента. Эти особенности геологического строения определили преимущества флюидных систем корневой системы импактной структуры перед флюидно-магматическими, вулканоплутоническими системами.

Источником рудного вещества месторождений является литосфера, а ремобилизация и масштабная концентрация компонентов руд, вызванные выделением огромной энергии верхней мантии, реализована путём плавления, метаморфизма, формирования гидротерм, флюидных систем. Существенное значение на формирование многочисленных месторождений оказала позднемезозойская океанизация земной коры Забайкалья². Она проявлена в виде вертикальной аккреции, сопровождавшейся всплытием мантийных расплавов в жёсткие слои земной коры, расплавлением, растворением базификацией гранитного слоя коры, частичным замещением её базальтами. Разрушая и замещая метаморфический, гранитный и другие слои, разогретый базальт стимулировал процессы вулканизма, выделял массу разнообразных газов (CO₂, H₂, N₂, горючие соединения C), участвовал в формировании паро-жидкой воды, различных газо-водно-магматических расплавов, свойства которых определялись термодинамическими и физико-химическими условиями. Яншанская орогенная тектономагматическая активизация, наложенная на импактные структуры, имеет решающее значение в формировании мультиметалльно-оруденения Восточного Забайкалья.

В рудоносных регионах астроблем полезные ископаемые распространены неравномерно. Пространственное положение их контролируется преимущественно разрывными нарушениями. В провинции Витватерсранд рудники расположены на участках крутого залегания пород синклинали структуры, нарушенной рядом разрывов, крупных и мелких надвигов, сбросов, на больших рудниках часто встречались почти вертикально стоящие пласты, а для северной стороны кольца Вредефорт характерно даже опрокинутое залегание пород. Главным фактором пространственного размещения эндогенного оруденения Юго-Восточного Забайкалья являются разрывные структуры кристаллического фундамента, заложенные в импактном кратере (Павленко, 2009). Эта особенность геологии раскрывает причины таких специфических минерогенетических

² Павленко Ю. В. К вопросу океанизации земной коры Восточного Забайкалья. – Ч. I–IV // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2013. – № 5–8. – С. 141–152 (ч. I), 145–163 (ч. II), 152–160 (ч. III), 168–182 (ч. IV).

черт региона, как поликомпонентный состав руд, мультиметалльное оруденение рудных узлов, формирование крупных месторождений. Установлены главные рудоконтролирующие структуры крупных минерагенических подразделений – Агинской (Монголо-Удский щов) и Аргунской (астроблема и её обрамление) субпровинций, а на уровне 5-километрового среза выделена серия крутопадающих линейных тектонических (межблоковых) и флюидопроницаемых зон – структур третьего порядка (рис. 4). Эти зоны являются рудовмещающими для мультиметалльного оруденения рудных районов, узлов, полей, месторождений, проявлений, пунктов минерализации, в них концентрируются многочисленные прямые признаки минерализации. Корни минерализации явно связаны с ранними эпохами дифференциации магматических очагов и рудообразования. Минерализация представляет продукт многократного вскипания, фазового расслоения флюидов, их физико-химического взаимодействия с вмещающей средой в виде циклических флюидных потоков в одни и те же участки земной коры определённой «зрелости». Вертикальный диапазон распространения оруденения характеризуется развитием нескольких разновозрастных залежей регенерированной, латерально-секреционной минерализации с отчётливо выраженной тенденцией локализации поздних её представителей ближе к поверхности. Колчеданное, скарновое, медно-порфиоровое, золото-сульфидно-кварцевое, золото-серебро-ртутное с Sb, As, Se и др. часто наложенное оруденение связано постепенными переходами по восстанию, образует на большом вертикальном интервале близкие по генезису и времени мультиметалльные рудные районы, узлы, поля и комплексные месторождения.

Флюидопроницаемые зоны характеризуются наиболее контрастными анизотропными свойствами пород, являются магистральными путями миграции тепловых потоков, различных продуктов гранитизации пород, флюидов, газов, гидротерм и рудного вещества, о чем свидетельствует пространственная совместимость их с экстенсивностью распространения мультиметалльного оруденения. Участки пересечения, сочленения зон характеризуются аномально большой глубиной и проницаемостью для рудоносных

растворов. В них локализовано эндогенное оруденение в ранге рудных районов (структуры четвёртого порядка), рудных узлов (структуры пятого порядка), рудных полей и месторождений (структуры соответственно шестого и седьмого порядков); последние – участки наибольшего анизотропного геологического строения, обеспечивающие не только концентрацию, но и сохранность продуктов флюидизации глубинных частей рудоносной колонны. Флюиды обеспечивали мобилизацию, концентрирование, перенос и осаждение некогерентных и газофильных химических элементов на вертикальном интервале в несколько километров.

Заключение. Таким образом, на нашей планете следует выделять две крупнейшие астроблемы протерозоя: Вредефорт и Восточного Забайкалья. Им свойственны свои сложнейшие генетические и важные исторические события, связанные с открытием, изучением и освоением месторождений. Уран-золоторудные месторождения Витватерсранда изучаются и интенсивно осваиваются 135 лет, генетически более сложное, менее обогащённое мультиметалльное оруденение Восточного Забайкалья изучается более 345 лет и осваивается эпизодически по мере спроса на минеральное сырьё.

Восточное Забайкалье – колыбель горно-геологической науки России и мира. Исторически сложилось, что ещё в 1676 г. в Приаргунье открыт первый российский свинец с серебром, а в 1717 г. – первое «злато домашнее» [1]. Благодаря интенсивным геологическим исследованиям, в последующие годы минералогическую науку России дополнили первые забайкальские минералы серебра, молибдена, вольфрама, олова, висмута, фтора, тория. В Нерчинском округе на площади 35 000 вёрст Д. Лебедевым и М. Ивановым создана первая в России геологическая карта – родоначальница последующих крупнейших региональных исследований. Геолого-минерагенические особенности старейшего горно-рудного региона России указывают, что Восточное Забайкалье и его астроблема представляет уникальный космогонический объект, на котором развивались и совершенствуются многие научные направления теоретической и практической геологии.

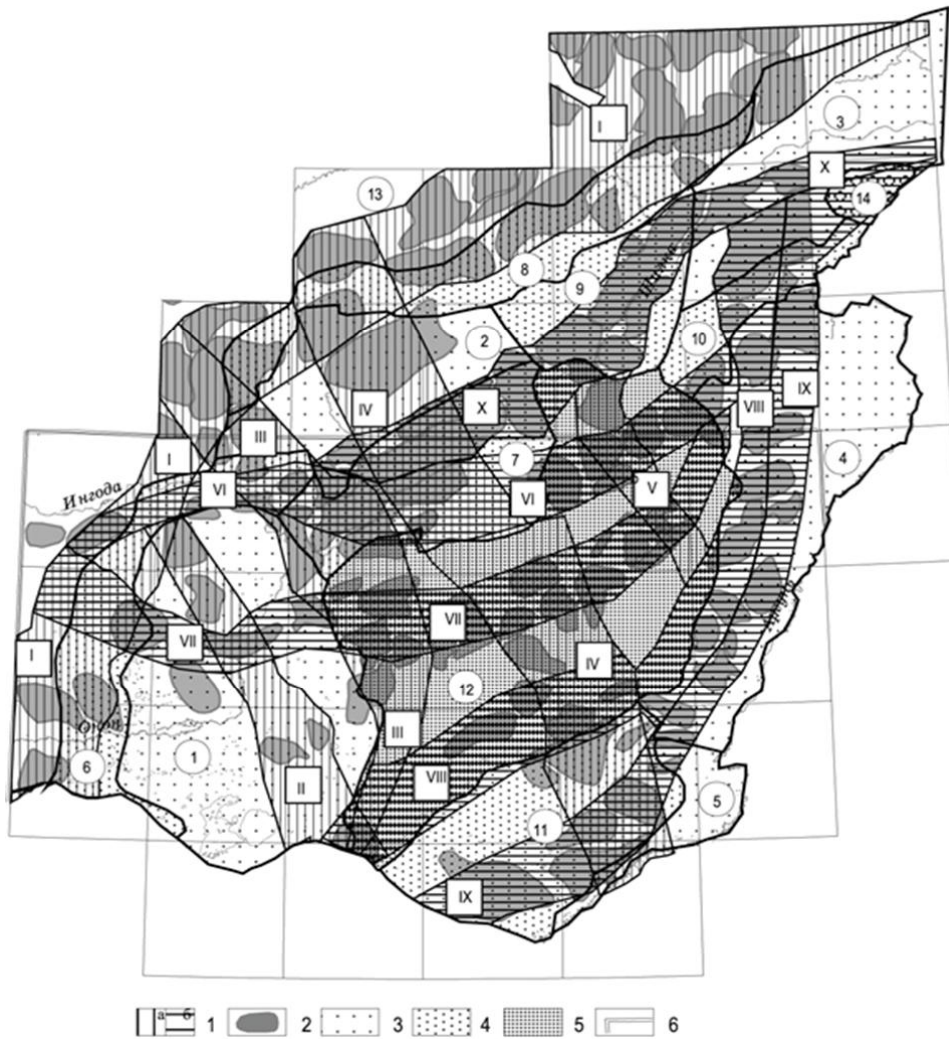


Рис. 4. Положение линейных зон тектономагматической активизации докембрийского кристаллического фундамента в структурах земной коры Юго-Восточного Забайкалья:

1 – линейные зоны тектоно-магматической активизации докембрийского кристаллического фундамента субмеридиональные (а), субширотные-северо-восточные (б); 2 – рудные узлы; 3-5 – мегаблоки со средней глубиной залегания кровли диорит-метаморфического слоя, км: 1 – 0-3; 2 – 5-6; 3 – 8-10 (по Г. А. Генко и Ю. А. Филипченко). Цифры в кружках – наименования мегоблоков: 1 – Восточно-Агинский; 2 – Оловский; 3 – Могочинский; 4 – Приаргунский; 5 – Далайнор-Аргунский; 6 – Ононский; 7 – Боршочовочный; 8 – Урюмский; 9 – Среднешилкинский; 10 – Верхнегазимурский; 11 – Урулюнгуийский; 12 – Газимурский; 13 – Ульза-Олекминский; 14 – Амурхэ; 4-5 – разломы: 4 – трансрегиональный; 5 – первого порядка; 6 – контур площади листа М-50 /

Fig. 4. The position of linear zones of tecto-nomagmatic activation of the Precambrian crystalline basement in the structures of the Earth's crust of Southeastern Transbaikalia: 1 – linear zones of tectonic-magmatic activation of the Precambrian crystalline basement are submeridional (a), sublatitudinal-northeastern (b); 2 – ore nodes; 3-5 – megablocks with an average depth of the roof of the diorite-metamorphic layer, km: 1 – 0-3; 2 – 5-6; 3 – 8-10 (by G. A. Genko and Yu. A. Filipchenko). The numbers in the circles are the names of megoblocks: 1 - Vostochno-Aginsky; 2 - Olovsky; 3 - Mogochinsky; 4 - Priargunsky; 5 - Dalaynor-Argunsky; 6 - Ononsky; 7 - Borshchovochny; 8 - Uryumsky; 9 - Sredneshilkinsky; 10 - Verkhnegazimursky; 11 - Urulyunguy; 12 - Gazimursky; 13 - Ulza-Olekminsky; 14 - Amurkhe; 4-5 - faults: 4 - transregional; 5 - first order; 6 – contour of the leaf area M-50

Огромные, далеко не познанные, природные особенности характеризуют этот регион как уникальную рудоносную провинцию планеты, история открытия, геологических исследований и освоение которого составляет ценнейшее достояние и России, и мира. Благодаря особому геологическому положению в главных геологических структурах земной коры, оригинальным геологическим и космогоническим процессам, регион от-

личается развитием всё ещё загадочных рудоносных структур с месторождениями мирового уровня. Современные минеральные ресурсы Восточного Забайкалья и её астроблемы представляют крупнейший кладёз стратегических, остродефицитных и высоколиквидных полезных ископаемых, способный обеспечить наращивание российского капитала многие годы.

Список литературы

1. Асосков В. М., Юргенсон Г. А., Четкин В. С. [и др.]. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1999. 574 с.
2. Глуховский М. З., Кузьмин М. И. Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 1. С. 3–26.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия «Алдано-Забайкальская». Лист N-50 – Сретенск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 377 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия «Алдано-Забайкальская». Лист М-50 – Борзя. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 553 с.
5. Гуров Е. П. Геофизический журнал. 2002. Т. 24, № 6. С. 3–35.
6. Долгушин С. С., Гошко Е. Ю. Золото и технологии. 2020. № 2.
7. Долгушин С. С., Черкасов Г. Н., Долгушин А. П. Золотоурановый Витватерсранд (ЮАР) и поиски его аналогов по южному обрамлению Сибирской платформы: в 2 ч. Ч. 1. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. 263 с.
8. Кукал Зденек. Природные катастрофы. М.: Знание, 1985. 240 с.
9. Мальков Б. А. Рудный потенциал крупных (Карская, Попигайская, Кожимская) и гигантских (Вредефорт, Садбери, Бангуи) астроблем. Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 25–26.
10. Масайтис В. Л., Данилин А. Н., Моцак М. С. Геология астроблем. Л.: Недра, 1980. 231 с.
11. Масайтис В. Л. Планета Земля. Тектоника и геодинамика: энцикл. справочник / ред. Л. И. Красный, О. В. Петров, Б. А. Блюман. СПб.: 2004. С. 221–226.
12. Масайтис В. Л. Планета Земля. Тектоника и геодинамика: энцикл. справочник / ред. Л. И. Красный, О. В. Петров, Б. А. Блюман. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. С. 503–506.
13. Мащак М. С. Морфология и структура Карской и Усть-Карской астроблем. Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. Л.: Наука, 1990. С. 37–55.
14. Мелеш Г. Д. Образование ударных кратеров. Геологический процесс. М.: Мир, 1994. 336 с.
15. Менакер Г. И. Строение тектоносферы и закономерности размещения рудных месторождений в Забайкалье: метод. рек. по исследованию закономерностей размещения рудных месторождений в связи с глубинным строением рудных провинций. Чита: Читагеология, 1989. 65 с.
16. Методическое пособие по изучению глубинного геологического строения складчатых областей для Государственной геологической карты России масштаба 1:1 000 000 / А. А. Духовский. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 135 с.
17. Михеева А. В. Каталог импактных структур Земли: [веб-сайт]. 2008. URL: <https://omzg.sgcc.ru/impact> (дата обращения: 21.09.2021). Текст: электронный.
18. Старостин В. И., Извеков Э. Д., Разин Л. В., Сакия Д. Р. Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016. № 2. С. 34–43.
19. Стружков С. Ф., Наталенко М. В. Минеральные ресурсы России, экономика и управление. 2009. № 4. С. 72–81.
20. Фельдман В. И. Петрология импацитов. М.: Изд-во МГУ, 1990. 299 с.
21. Шило Н. А. Металлогения Тихоокеанского рудного пояса и Тихого океана // Смирновский сборник. 2007. С. 51–64.
22. Baratoux D., Koeberl C. The shatter cone site at Agoudal (High Atlas mountains, Morocco) // Meteoritics and Planetary Science. 2016. Vol. 51, no 8. P. 1389–1434.

23. Jourdan F., Reimold W. U., Deutsch A. Special issue dedicated to Impact Cratering // *Elements*. 2012. Vol. 8. P. 49–53.
24. Masaitis V. L. Astrobleme geology // *Meteoritics and Planetary Science*. 1999. 34. P. 691–711.
25. Osinski G. R., Pierazzo E. Impact cratering // *Processes and products*. John Wiley & Sons, 2012. 330 c.
26. Vishnevsky S. A. Geological and Landscape Conservation. London: Geological Society, 1994. P. 297–300.

References

1. Asoskov V. M., Yurgenson G. A., Chechetkin V. S. [etc.] *Geologicheskkiye issledovaniya i gornopromyshlenny kompleks Zabaykaliya: Istoriya, sovremennoye sostoyaniye, problemy, perspektivy razvitiya. K 300-letiyu osnovaniya Prikaza rudokopnyh del* (Geological research and mining complex of Transbaikalia: history, current state, problems, development prospects. To the 300th anniversary of the founding of the Order of Mining Affairs. Novosibirsk: Science. Sib. ed. firm RAS, 1999. 574 p.
2. Glukhovskiy M. Z., Kuzmin M. I. *Geologiya i geofizika* (Geology and geophysics. 2013. T. 54, no. 1, pp. 3–26.
3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tretye pokoleniye). Seriya «Aldano-Zabaykalskaya». List N-50 – Sretensk. Obyasnitelnaya zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). Series “Aldan-Zabaikalskaya”. Sheet N-50 - Sretensk. Explanatory letter). SPb.: Cartographic Factory VSEGEI, 2010. 377 p.
4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tretye pokoleniye). Seriya «Aldano-Zabaykalskaya». List M-50 – Borzya. Obyasnitelnaya zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). Series “Aldan-Zabaikalskaya”. Sheet M-50 - Borzya. Explanatory letter). SPb.: Cartographic factory VSEGEI, 2010. 553 p.
5. Gurov Ye. P. *Geofizicheskiy zhurnal* (Geophysical journal), 2002, vol. 24, no. 6, pp. 3–35.
6. Dolgushin S. S., Goshko Ye. Yu. *Zoloto i tekhnologii* (Gold and technologies), 2020, no. 2.
7. Dolgushin S. S., Cherkasov G. N., Dolgushin A. P. Zolotouranovy Vitwatersrand (YUAR) i poiski yego analogov po yuzhnomu obramleniyu Sibirskoy platformy (Gold-Uranium Witwatersrand (South Africa) and the search for its analogues along the southern framing of the Siberian platform: at 2 h. Part 1. Novosibirsk: SNIIGiMS, 2018, 263 p.
8. Kukul Zdenek. *Prirodnyye katastrofy* (Natural disasters). Moscow: Knowledge, 1985, 240 p.
9. Malkov B. A. *Rudnyy potentsial krupnyh (Karskaya, Popigayskaya, Kozhimskaya) i gigantskih (Vredefort, Sadberi, Bangui) astroblem. Almazy i blagorodnyye metally Timano-Uralskogo regiona* (Ore potential of large (Karskaya, Popigayskaya, Kozhimskaya) and giant (Vredefort, Sudbury, Bangui) astroblems. Diamonds and precious metals of the Timan-Ural region). Syktyvkar: Geoprint, 2006, pp. 25–26.
10. Masaytis V. L., Danilin A. N., Moshchak M. S. *Geologiya astroblem* (Geology of astroblem). L.: Nedra, 1980, 231 p.
11. Masaytis V. L. *Planeta Zemlya. Tektonika i geodinamika: entsikl. spravochnik* (Planet Earth. Tectonics and Geodynamics: Encyclopedia. reference book / ed. L. I. Krasny, O. V. Petrov, B. A. Bluman. SPb.: VSEGEI, 2004, pp. 221–226.
12. Masaytis V. L. *Planeta Zemlya. Tektonika i geodinamika: entsikl. spravochnik* / red. L. I. Krasny, O. V. Petrov, B. A. Bluman (Planet Earth. Tectonics and Geodynamics: Encyclopedia. reference book / ed. L. I. Krasny, O. V. Petrov, B. A. Bluman). SPb.: VSEGEI, 2004. S. 503–506.
13. Maschak M. S. *Morfologiya i struktura Karskoy i Ust-Karskoy ostroblem. Impaktnye krateri na rubezhe mezozoya i kaynozoya* (Morphology and structure of the Kara and Ust-Kara ostroblems. Impact craters at the Mesozoic-Cenozoic boundary. L.: Nauka, 1990, pp. 37–55.
14. Melosh G. D. *Obrazovaniye udarnykh kraterov. Geologicheskii protsess* (Formation of impact craters. Geological process). Moscow: Mir, 1994, 336 p.
15. Menaker G. I. *Stroyeniye tektonosfery i zakonmernosti razmeshcheniya rudnykh mestorozhdeniy v Zabaykalye: metod. rek. po issledovaniyu zakonmernostey razmescheniya rudnykh mestorozhdeniy v svyazi s glubinnym stroyeniyem rudnykh provintsiy* (The structure of the tectonosphere and patterns of ore deposits' distribution in Transbaikalia: method. of rivers to study the patterns of placement of ore deposits in connection with the deep structure of ore provinces). Chita: Chitageologiya, 1989. 65 p.
16. *Metodicheskoye posobiye po izucheniyu glubinnogo geologicheskogo stroyeniya skladchatykh oblastey dlya Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossii masshtaba 1:1 000 000* (Methodological manual for the study of the deep geological structure of folded areas for the State Geological Map of Russia at a scale of 1: 1,000,000) / A. A. Dukhovskiy. SPb.: VSEGEI, 2005. 135 p.
17. Mikheyeva A. V. *Katalog impaktnykh struktur Zemli* (Catalogue of impact structures of the Earth: [Website]. 2008. Available at: omzg.sccc.ru/impact (date of access: 21.09.2021). Text: electronic.

18. Starostin V. I., Izvekov E. D., Razin L. V., Sakiya D. R. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya* (18. Starostin V. I., Izvekov E. D., Razin L. V., Sakia D. R. Moscow University Bulletin. Series 4. Geology), 2016, no. 2, pp. 34–43.
19. Struzhkov S. F., Natalenko M. V. *Mineralnye resursy Rossii, ekonomika i upravleniye* (Mineral resources of Russia, economics and management), 2009, no. 4, p. 72–81.
20. Feldman V. I. *Petrologiya impaktitov* (Petrology of impactites). Moscow: Moscow State University Publishing House, 1990, 299 p.
21. Shilo N. A. *Smirnovskiy sbornik* (Smirnov collection), 2007, pp. 51–64.
22. Baratoux D., Koeberl C. *Meteoritics and Planetary Science* (Meteoritics and Planetary Science), 2016, vol. 51, no 8, pp. 1389–1434.
23. Jourdan F., Reimold W. U., Deutsch A. *Elements* (Elements), 2012, vol. 8, pp. 49–53.
24. Masaitis V. L. *Meteoritics and Planetary Science* (Meteoritics and Planetary Science), 1999, 34, pp. 691–711.
25. Osinski G. R., Pierazzo E. *Processes and products* (Processes and products). John Wiley & Sons, 2012. 330 с.
26. Vishnevsky S. A. *Geological and Landscape Conservation* (Geological and Landscape Conservation). London: Geological Society, 1994. pp. 297–300.

Информация об авторе**Information about the author**

Павленко Юрий Васильевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: мелко-среднемасштабное геологическое картирование, прогнозирование, поиски, разведка месторождений
pavurva@mail.ru

Yuriy Pavlenko, doctor of geological mineralogical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: small-medium-scale geological mapping, forecasting, prospecting, exploration of deposits

Для цитирования

Павленко Ю. В. Восточно-Забайкальская астроблема // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 8. С. 48–60. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-48-60.

Pavlenko Yu. East Transbaikal astrobleme // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 8. P. 48–60. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-48-60.

Статья поступила в редакцию: 30.09.2021 г.
Статья принята к публикации: 05.10.2021 г.