

**THE PHENOMENON OF RAPID ACCUMULATION OF SEDIMENTS
BELONGING TO THE UDOKAN GROUP AND THE FORMATION OF THE UNIQUE
UDOKAN COPPER DEPOSIT (ALDAN SHIELD, SIBERIAN CRATON)**

D.P. Gladkochub ^{1,2,3✉}, **A.M. Mazukabzov** ¹, **T.V. Donskaya** ¹

¹ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

² Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 134 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

³ Irkutsk State University, 3 Lenin St, Irkutsk 664025, Russia

ABSTRACT. We analyzed new geological and geochronological data on sedimentation and metamorphism in the junction area of the Aldan and Stanovoy Superterrane comprising the southern flank of the Siberian craton. The analysis was focused on early Proterozoic deposits belonging to the Udokan group. It is confirmed that highly metamorphosed rocks at the base of the Udokan group (Kolar subgroup of the Stanovoy suture zone) differ sharply from other rock associations included in this group (Chiney and Kemen subgroups of the Aldan Superterrane). They differ in the degree of metamorphic alterations, style of tectonic deformation, igneous complexes intruding them, and show a complete lack of copper mineralization. There are thus grounds to exclude the Kolar subgroup from the Udokan group. According to our data, the age of the sediments in the Udokan group, including the Chiney and Kemen subgroups, is 1.90–1.87 Ga, i.e. in the study area, sedimentation lasted for no more than 30 Ma and proceeded simultaneously with the copper mineralization within the intracontinental extensional basin at the stage of collapse of the early Proterozoic orogen.

KEYWORDS: Siberian craton; Precambrian; orogeny; sedimentation; ore-forming processes; copper mineralization; sedimentary basin

FUNDING: The study was supported by the Government of the Russian Federation (grant № 075-15-2019-1883) and the Integration Program of the Irkutsk Scientific Center of SB RAS.

SHORT COMMUNICATION

Correspondence: Dmitrii P. Gladkochub, dima@crust.irk.ru

Received: August 30, 2020

Revised: September 29, 2020

Accepted: October 14, 2020

FOR CITATION: Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., 2020. The phenomenon of rapid accumulation of sediments belonging to the Udokan group and the formation of the unique Udokan copper deposit (Aldan shield, Siberian craton). *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (4), 664–671. doi:10.5800/GT-2020-11-4-0498

ФЕНОМЕН АНОМАЛЬНО БЫСТРОГО НАКОПЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ УДОКАНСКОЙ СЕРИИ И ФОРМИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНОГО УДОКАНСКОГО МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (АЛДАНСКИЙ ЩИТ, СИБИРСКИЙ КРАТОН)

Д.П. Гладkochуб^{1,2,3}, А.М. Мазукабзов¹, Т.В. Донская¹

¹ Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

² Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия

³ Иркутский государственный университет, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведен анализ новых геологических и геохронологических данных о строении осадочных и метаморфических образований в области сочленения Алданского и Станового супертеррейнов (южный фланг Сибирского кратона), относимых к удоканской серии раннего протерозоя. Сделан вывод о том, что образования основания удоканской серии (кодарская подсерия, Становой структурный шов) резко отличаются от остальной части разрезов серии (чинейская и кеменская подсерии, Алданский супертеррейн) степенью метаморфической переработки, стилем деформаций, набором прорывающих их магматических комплексов и полным отсутствием медной минерализации, что позволяет вычлениить эти высокометаморфизованные образования из разреза удоканской серии. Показано, что возраст отложений удоканской серии в ее актуальном объеме (чинейская и кеменская подсерии) отвечает интервалу 1.90–1.87 млрд лет, т.е. процесс осадконакопления занял не более 30 млн лет и протекал одновременно с формированием медной минерализации в пределах бассейна внутриконтинентального растяжения на стадии коллапса раннепротерозойского орогена.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Сибирский кратон; докембрий; орогенез; седиментация; рудогенез; медная минерализация; осадочный бассейн

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075-15-2019-1883 и интеграционной программы ИНЦ СО РАН.

1. ВВЕДЕНИЕ

Удоканское медное месторождение находится в 30 км к югу от железнодорожной станции Новая Чара Байкало-Амурской магистрали. Месторождение входит в состав Каларо-Удоканского рудного узла, который располагается в пределах области сочленения Алданского и Станового супертеррейнов южного фланга Сибирского кратона, и включает в себя три уникальных докембрийских месторождения твердых полезных ископаемых: Катугинское редкометалльное (Ta, Nb, Zr, Y, редкоземельные элементы), Чинейское комплексное (Fe, Ti, V, Cu, платиноиды) и Удоканское месторождение медистых песчаников. По своим запасам Удоканское месторождение меди является крупнейшим в России и третьим в мире.

Медная минерализация на Удоканском месторождении представлена первичными минералами меди – борнитом, халькопиритом и халькозином, а также вторичными минералами меди – малахитом, азуритом и ковеллином [Bogdanov et al., 1966]. Кроме этого, в рудах присутствуют пирит, магнетит и гематит. Рудовмещающими породами месторождения являются песчаники удоканской серии, поэтому расшифровка особенностей формирования Удоканского месторождения напрямую соотносится с решением вопросов о возрастной позиции и условиях накопления осадочных толщ этого стратоподразделения, что и определяет цель и актуальность исследований, результаты которых представлены в данной статье.

2. СТРОЕНИЕ УДОКАНСКОЙ СЕРИИ

Изучением разрезов удоканской серии, располагающейся в пределах южного фланга Алданского супертеррейна, вблизи области ее сочленения со структурами Станового структурного шва и Станового супертеррейна, со второй половины прошлого века занимались многие производственно-геологические и научные организации. Наиболее детальные описания и интерпретации природы отложений удоканской серии даны в фундаментальной работе [Salop, 1964], а также в монографиях [Bogdanov et al., 1966; Fedorovsky, 1972].

Согласно одной из наиболее распространенных стратиграфических схем [State Geological Map..., 1998; Bogdanov et al., 1966], породы удоканской серии в рассматриваемом районе подразделяются (снизу вверх) на кодарскую, чинейскую и кеменскую подсерии, а ее мощность достигает 13 км. Метаосадочные образования кодарской подсерии несогласно залегают на гнейсах и мигматитах каларской толщи позднего архея [Kotov, 2003]. Кодарская подсерия включает в себя (снизу вверх) икабийскую и аянскую свиты, в разрезах которых присутствуют преимущественно метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации песчаники и алевролиты. Кроме этого, в разрезах кодарской подсерии отмечены двуслюдяные сланцы с гранатом, кордиеритом, фибролитом, актинолитовые и углистые сланцы, мраморизованные известняки с гранатом и диопсидом, кварциты и филлиты. Мощность отложений кодарской подсерии достигает 3000 м. Отложения

чинейской подсерии, включающей в себя (снизу вверх) инырскую, читкандинскую, александровскую и бутунскую свиты, несогласием залегают на метаосадочных породах кодарской подсерии, от которых их отличает значительно меньшая степень метаморфической переработки, отвечающая условиям зеленосланцевой фации. Осадочная последовательность чинейской подсерии, имеющая черты трансгрессивного строения, представлена главным образом слабометаморфизованными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, прослоями доломитов и известняков. Подсерия имеет мощность около 3000 м. Кеменская подсерия, включающая в себя (снизу вверх) талаканскую, сакуканскую и намингинскую свиты, несогласно залегают на различных уровнях чинейской подсерии и характеризуется двуритмичным строением. Нижний трансгрессивный ритм представлен гравелитами, конгломератами и грубозернистыми песчаниками, сменяющимися в верхних частях ритма переслаиванием алевролитов, песчаников и аргиллитов (1500 м). Верхний трансгрессивный ритм в основании сложен диамиктитами и песчаниками (1500–3000 м). В диамиктитах присутствуют валуны и галька песчаников, алевролитов, гранитов и известняков в песчано-аргиллитовом матриксе. Основная часть верхнего трансгрессивного ритма представляет собой переслаивание песчаников и алевролитов (1150–1400 м).

3. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Во второй половине XX в. силами производственных геологических и научных организаций был выполнен колоссальный объем работ по изучению строения и стратиграфии удоканской серии, однако, в силу отсутствия в разрезах синседиментационных вулканических пород и ограниченности возможностей методов изотопного датирования на той стадии развития наук о Земле, вопрос о возрастной позиции толщ, включенных в состав удоканской серии, долгое время оставался открытым.

Ю.В. Богданов с соавторами [Bogdanov et al., 1971] предприняли попытку определить возраст меденосных отложений удоканской серии уран-свинцовым методом по валу по шести разновидностям песчаников из разрезов читкандинской и александровской свит чинейской подсерии и получили следующие оценки возраста: 3000 млн лет (Th-Pb изохрона и возраст по $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$); 2140 млн лет (U-Pb изохрона и возраст по $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$); 1870 млн лет (U-Pb изохрона и возраст по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$); 1840 млн лет (возраст по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, вычисленный с помощью конкордии) и 1760 млн лет (Pb-Pb изохрона и возраст по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$). Эти результаты, часть из которых совершенно очевидно противоречит геологической ситуации, позволили авторам сделать заключение о том, что накопление удоканской серии происходило в интервале 2100–1800 млн лет [Bogdanov et al., 1971].

В последующем была получена оценка возраста циркона из пород, описанных как «метаморфизованные

в биотит-хлоритовой субфации псаммитовые образования, интерпретируемые как метаграувакки и туфопесчаники» читкандинской свиты чинейской подсерии (2180±50 млн лет [Berezhnaya et al., 1988]). Однако, как отмечалось в этой же статье [Berezhnaya et al., 1988] и в целом ряде других работ по стратиграфии удоканской серии [Bogdanov et al., 1966; State Geological Map..., 1998], эффузивные породы в ее составе не описаны, поэтому данный возраст, полученный по детритовым цирконам, извлеченным «не из собственно эффузивных пород, а из продуктов их переотложения» [Berezhnaya et al., 1988], не может объективно отражать возраст накопления изученных метаморфизованных алевролитов с примесью вулканогенного материала, указывая лишь на то, что эти породы не могут быть древнее 2200 млн лет.

Использование упомянутых выше датировок [Bogdanov et al., 1971; Berezhnaya et al., 1988] в совокупности с первыми оценками возраста, полученными по гранитам кадарского комплекса (1873±2 и 1876±4 млн лет [Larin et al., 2012]), прорывающим отложения чинейской и кеменской подсерий, долгое время позволяло предшественникам допускать, что накопление осадочной толщи удоканской серии могло происходить в широком временном интервале от ~2230 до ~1840 млн лет, охватывавшем почти 400 млн лет.

Косвенно о возрастной позиции отдельных подсерий и всей удоканской серии свидетельствует возраст прорывающих ее отложения интрузивных образований. Для акцентирования вопроса о правомерности объединения всех этих подсерий в единую серию важно отметить следующий факт. Наиболее древние высокометаморфизованные образования кодарской подсерии прорываются биотитовыми плагиогранитами с возрастом 2105±6 млн лет [Kotov et al., 2018], гранитоидами катугинского (2055±7 и 2066±6 млн лет [Larin et al., 2002; Kotov et al., 2015]), куандинского (аналогичатского – 1908±5 млн лет [Larin et al., 2006]) и кадарского (1873±2 и 1876±4 млн лет [Larin et al., 2012]) комплексов. Более молодые и практически неизменные отложения чинейской и кеменской подсерий прорываются лишь гранитоидами кадарского комплекса и габброидами чинейского комплекса (1867±3 млн лет [Popov et al., 2009]). Таким образом, можно отметить, что высокометаморфизованные отложения основания удоканской серии и породы вышележащих слабоизмененных осадочных толщ прорываются различным набором интрузивных образований и лишь самые молодые из них прорывают все подсерии удоканской серии без исключения.

Детальное рассмотрение особенностей строения, состава и возраста пород, относимых к удоканской серии, со всей очевидностью ставило перед исследователями целый ряд принципиальных вопросов, среди которых могут быть выделены главные:

(1) чем может быть объяснена аномальная мощность разреза удоканской серии (около 13 км, согласно [Fedorovsky, 1972]), суммируемая из мощностей всех относимых к ней подсерий?

(2) какой могла быть обстановка седиментации, обеспечивающая относительно стабильные условия для накопления рассматриваемых пород на столь длительном (более 350 млн лет) временном интервале, и имеются ли современные аналоги подобных режимов?

(3) каков источник аномально богатой медной минерализации, приуроченной к узкому интервалу осадочного разреза, а именно к верхней части кеменской подсерии удоканской серии?

Новые данные, полученные за последние годы в результате проведения детальных геолого-структурных и изотопно-геохронологических исследований пород удоканской серии, позволили по-новому подойти к решению обозначенных выше вопросов.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

В первую очередь критическому анализу был подвергнут вопрос о правомочности и обоснованности отнесения к разрезу удоканской серии высокометаморфизованных пород кодарской подсерии. Существующие в настоящее время палеогеографические и палеогеодинамические построения для кодарской, чинейской и кеменской подсерий носят сравнительно-сопоставительный характер и в значительной степени условны. Относительность этих построений касается, прежде всего, низов разреза удоканской серии, поскольку породные ассоциации этого уровня представляют собой метаморфические образования. Комплекс пород, которые до настоящего времени рассматривались в составе

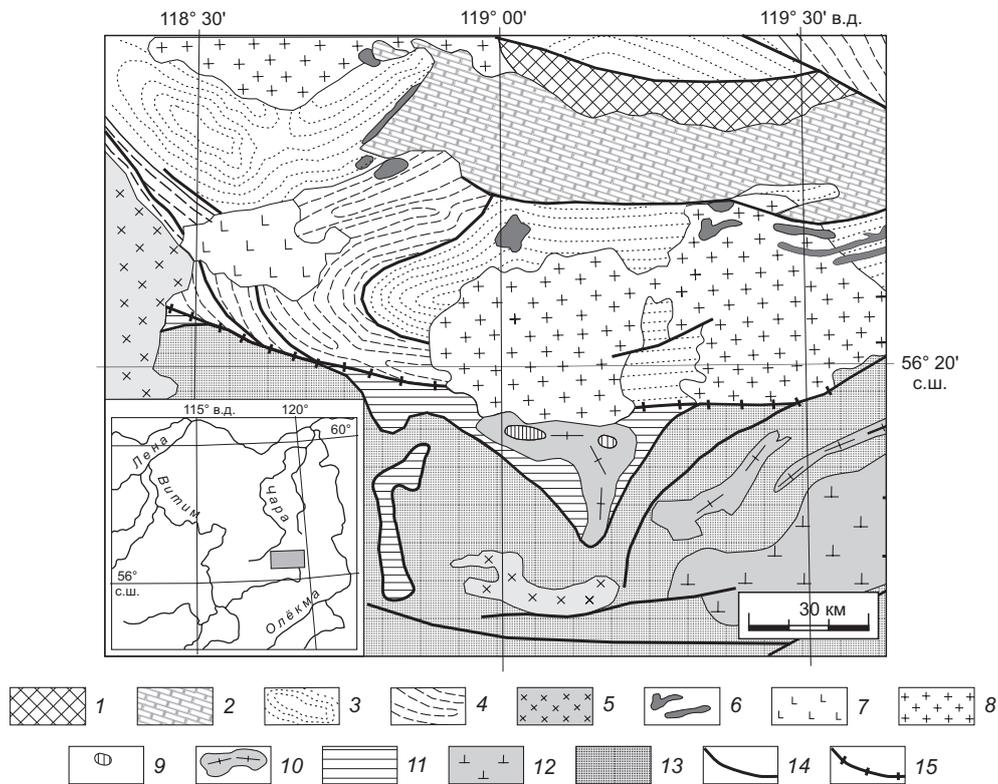


Рис. 1. Геологическое строение области сочленения Алданского и Станового супертеррейнов южного фланга Сибирского кратона.

1 – юрские терригенные отложения; 2 – венд-ордовикские осадочные образования; 3–4 – раннепротерозойские осадочные отложения удоканской серии (3 – кеменская подсерия, 4 – чинейская подсерия); 5 – позднепалеозойские гранитоиды; 6 – позднепалеопротерозойские долериты доросского комплекса; 7 – базит-ультрабазиты чинейского комплекса (1.87 млрд лет); 8 – гранитоиды кадарского комплекса (1.87 млрд лет); 9 – редкометалльные гранитоиды катугинского комплекса (2.06–2.07 млрд лет); 10 – гнейсограниты куандинского комплекса (1.91 млрд лет); 11 – раннедокембрийские метаморфические породы (бластомилониты, гнейсы, мигматиты); 12 – позднеархейские анортозиты каларского комплекса; 13 – каларская толща позднего архея с многочисленными интрузиями гранитоидов; 14 – разрывные нарушения; 15 – сутурная зона, разделяющая Алданский супертеррейн (к северу) и Становой структурный шов (к югу) Сибирского кратона.

Fig. 1. Schematic geological map of the junction area of the Aldan and Stanovoy Superterrains comprising the southern flank of the Siberian craton.

1 – Jurassic terrigenous sediments; 2 – Vendian-Ordovician sedimentary rocks; 3–4 – Early Proterozoic sedimentary rocks of the Udokan group (3 – Kemen subgroup, 4 – Chiney subgroup); 5 – Late Paleozoic granitoids; 6 – Late Paleoproterozoic dolerites (Doros complex); 7 – basite-ultrabasites (Chiney complex, 1.87 Ga); 8 – granitoids (Kadar complex, 1.87 Ga); 9 – rare metal granitoids (Katugin complex, 2.06–2.07 Ga); 10 – gneiss-granites (Kuanda complex, 1.91 Ga); 11 – Early Precambrian metamorphic rocks (blastomylonite, gneiss, migmatite); 12 – Late Archean anorthosite (Kalar complex); 13 – Late Archean Kalar highly metamorphosed sequence with numerous granitoid intrusions; 14 – faults; 15 – suture zone separating the Aldan (north) and the Stanovoy (south) Superterrains of the Siberian craton.

кодарской подсерии, резко отличается от остальной части разреза удоканской серии по степени метаморфизма, стилю деформаций и возрасту прорывающих их магматических образований. Проведенные детальные геолого-структурные наблюдения позволили установить, что породы кодарской подсерии находятся в области развития амфиболитовой фации и частичного развития процессов ультраметаморфизма, вплоть до появления мигматитов, которые также вовлечены в многоэтапные деформации. Проведенный анализ собственных результатов и материалов, опубликованных предшественниками, показал, что признаков постепенного перехода от высокометаморфизованных пород кодарской подсерии к практически неизменным песчаникам чинейской и кеменской подсерий не существует. Кроме того, при полевых наблюдениях авторами работы было отмечено, что взаимоотношения пород кодарской подсерии с «вышележащими» значительно менее метаморфизованными породами чинейской и кеменской подсерий осуществляются через мощную зону разлома субширотного простирания (рис. 1), характеризующегося широким развитием процессов динамометаморфизма. По всей видимости, породы, относимые к кодарской подсерии, принадлежат структуре Станового структурного шва, в то время как отложения чинейской и кеменской подсерий располагаются в пределах Алданского супертеррейна (рис. 1). Рассмотренные выше данные по возрасту интрузивных образований, прорывающих породы разных подсерий удоканской серии, подтверждают выводы о различном геологическом положении пород кодарской подсерии и отложений чинейской и кеменской подсерий.

Вопрос о значительном перерыве между временем накопления кодарской и чинейской подсерий удоканской серии ставился также в работе В.П. Ковача с соавторами [Kovach et al., 2018] на основании интерпретации изотопно-геохимических данных.

О том, что кодарская подсерия чужеродна меденосной удоканской серии, косвенно свидетельствует и

тот факт, что медное оруденение, присутствующее на восьми уровнях в разрезах чинейской и кеменской подсерий (три основных: в сакуканской, читкандинской и александровской свитах), совершенно отсутствует в породах кодарской подсерии, в которой не отмечено никаких, даже незначительно повышенных, содержания меди.

Полученные авторами результаты в совокупности с ранее опубликованными данными [Kotov et al., 2015; Kovach et al., 2018] позволяют пересмотреть ранее опубликованные стратиграфические схемы и начинать разрез удоканской серии со слабометаморфизованных песчаников чинейской подсерии, а породные ассоциации кодарской подсерии рассматривать в качестве самостоятельного метаморфического комплекса. Таким образом, мощность разреза собственно удоканской серии может быть пересмотрена в сторону уменьшения более чем на 3 км.

Второй аспект касается оценки возраста песчаников собственно удоканской серии в составе оставшихся в ней в полном объеме чинейской и кеменской подсерий (без кодарской подсерии). U-Pb изотопный анализ зерен циркона песчаников чинейской подсерии (александровская свита) показал, что минимальное значение возраста зерен циркона в этих породах составляет 1.90 млрд лет [Kovach et al., 2018], что совпадает с возрастом последних этапов складчатости и регионального метаморфизма, проявленных в пределах западной части Чаро-Олекминского геоблока Алданского супертеррейна (1.91 млрд лет) [Kotov et al., 2005]. Верхняя возрастная граница накопления пород удоканской серии определяется возрастом прорывающих их габброидов чинейского комплекса (~1.87 млрд лет) [Popov et al., 2009] и гранитоидов кодарского комплекса (~1.87 млрд лет) [Larin et al., 2012]. Таким образом, возраст отложений удоканской серии отвечает интервалу 1.90–1.87 млрд лет, т.е. процесс осадконакопления занял не более 30 млн лет (рис. 2). Кроме того, возраст рудогенерирующего процесса (1896 ± 2 млн лет,

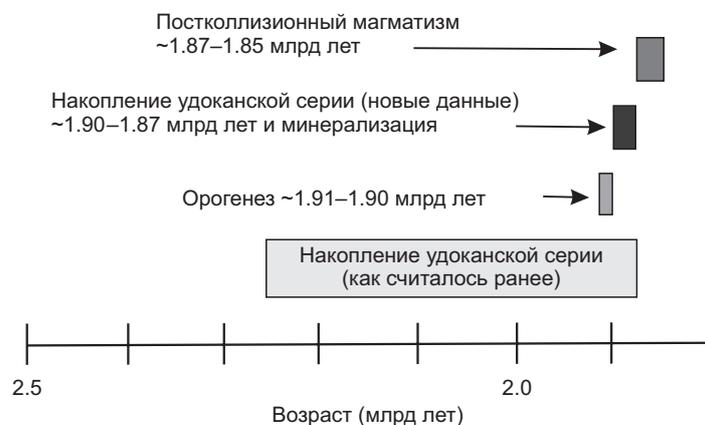


Рис. 2. Последовательность проявления основных геологических событий в области сочленения Алданского и Станового супертеррейнов Сибирского кратона на временном интервале 2.50–1.80 млрд лет.

Fig. 2. The sequence of the major geological events that took place in the junction area of the Aldan and Stanovoy Superterranes of the Siberian craton during 2.50–1.80 Ga.

ID TIMS U-Pb по титаниту из рудной зоны сакуканской свиты) [Perello et al., 2017] оказался очень близок к возрасту седиментации, свидетельствуя о том, что процесс рудообразования происходил одновременно с накоплением терригенной толщи, субсинхронно с развитием осадочного бассейна. Принимая во внимание то, что основные орогенные события в регионе проявились на рубеже 1.91 млрд лет [Kotov et al., 2005], можно предположить, что чрезвычайно быстрое накопление отложений удоканской серии и практически одновременное рудообразование происходили на стадии коллапса раннепротерозойского орогена, т.е. в условиях внутриконтинентального растяжения, когда утолщенная в результате орогенных событий литосфера испытывала процессы деструкции, а возникающие диссипативные структуры (разломы) способствовали массовому поступлению обогащенных медью флюидов в верхние горизонты земной коры, откуда медь попадала в терригенные отложения удоканской серии.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Предложенная модель не противоречит ранее высказанным представлениям предшественников о формировании Удоканского стратиформного месторождения меди в обстановке внутриконтинентального бассейна растяжения [Baskov et al., 1998; Belenitskaya et al., 2001; Maslov, Alekseev, 2003]. Кроме этого, предположение о том, что «формирование месторождений меди в чинейской и кеменской подсериях удоканской серии происходило при участии процессов вулканизма основного и кислого состава» [Abramov, 2008, 2010], хорошо соотносится с моделью авторов данной статьи, так как бимодальный вулканизм является «визитной карточкой» обстановок внутриконтинентального растяжения. Однако высказанное в работах Б.Н. Абрамова [Abramov, 2008, 2010] соображение о надсубдукционной природе этого вулканизма не подтверждается современными представлениями о геодинамической эволюции данной территории [Kotov, 2003; Donskaya, 2020], согласно которым с рубежа 1.90 млрд лет район расположения бассейна накопления отложений удоканской серии находился внутри консолидированного Алданского супертеррейна, граничившего с юга со Становым супертеррейном (см. рис. 1), вдали от каких-либо гипотетических зон субдукции.

Рассматривая вопрос о возможном источнике меди в песчаниках Удоканского месторождения, следует отметить значительную обогащенность медью не только «удоканских» песчаников, но и базит-ультрабазитовых интрузий чинейского комплекса, где медная минерализация, представленная халькопиритом и борнитом, ассоциирует с Fe, Ti, V и, частично, с платиноидами [Tolstykh et al., 2008]. С учетом того факта, что сама природа чинейского комплекса и его рудная минерализация напрямую отражают воздействие мантийного плюма на данный участок литосферы Алданского супертеррейна, можно предположить один общий источник (поставщик) меди, железа и серы как для базит-

ультрабазитов Чинейского месторождения, так и для песчаников Удоканского месторождения, в рудах которого, наряду с борнитом и халькопиритом, присутствует пирит, магнетит и гематит.

Примечательно то, что в том же самом возрастном интервале в соседних областях южного фланга Сибирского кратона по совершенно аналогичной схеме (1.91 млрд лет – орогенез, 1.91–1.87 млрд лет – накопление осадочных отложений во внутриконтинентальном бассейне, связанном с обстановкой растяжения, 1.87–1.84 млрд лет – постколлизийный магматизм основного (габброиды) и кислого (гранитоиды) состава) развивалась еще одна структура – Урикско-Ийский грабен [Gladkochub et al., 2014; Donskaya et al., 2020; Donskaya, 2020]. Однако медная, как и любая иная, минерализация в палеопротерозойских осадочных и магматических породах этой структуры полностью отсутствует, что еще раз подчеркивает своеобразие Каларо-Удоканского рудного узла.

Следует отметить, что современные аналоги крупных бассейнов со столь аномально быстрыми скоростями седиментации, как это установлено для пород удоканской серии, неизвестны. Таким образом, феномен Удоканского бассейна, возникновение и быстрое заполнение которого могло происходить на стадии коллапса палеопротерозойского орогена, возникшего в процессе образования Сибирского кратона, сохраняет свою уникальность, как, собственно, и приуроченное к нему Удоканское месторождение медистых песчаников.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075-15-2019-1883 и интеграционной программы ИИЦ СО РАН.

7. ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Abramov B.N., 2008. Specific Features of the Formation of Cupriferous Sandstones of the Kemen and Chinei Groups in the Kodar-Udokan Zone. *Doklady Earth Sciences* 419 (1), 197–199. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08020013>.
- Abramov B.N., 2010. New Type of Copper Mineralization in Deposits of the Early Proterozoic Udokan Sedimentary Complex (Eastern Siberia). *Bulletin of the Irkutsk State Technical University* 4 (44), 58–62 (in Russian) [Абрамов Б.Н. Новый тип медной минерализации в отложениях раннепротерозойского удоканского осадочного комплекса (Восточная Сибирь) // Вестник ИргТУ. 2010. №4 (44). С. 58–62].
- Baskov E.A., Belenitskaya G.A., Romanovsky S.I., Volkova I.B., Egorov S.V., Ivanova T.K., Ioganson A.K., Litvinova V.A. et al., 1998. *Lithogeodynamics and Minerageny of Sedimentary Basins*. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 480 p. (in Russian) [Басков Е.А., Беленецкая Г.А., Романовский С.И., Волкова И.Б., Егоров С.В., Иванова Т.К., Иогансон А.К., Литвинова В.А. и др. Литогеодинамика и минерация осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.].

Belenitskaya G.A., Romanovsky S.I., Feoktistov V.P., 2001. Tectonic-Sedimentological Modeling and Forecast-Mineralogenic Analysis of the Main Geodynamic Groups of Ore-Bearing Sedimentary Basins of Russia. Sedimentary Basins of Russia. Iss. 5. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 144 p. (in Russian) [Беленицкая Г.А., Романовский С.И., Феоктистов В.П. Тектоно-седиментологическое моделирование и прогнозно-минералогический анализ основных геодинамических групп рудоносных осадочных бассейнов России // Осадочные бассейны России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. Вып. 5. 144 с.].

Berezhnaya N.G., Bibikova E.V., Sochava A.E., 1988. Isotopic age of the Chiney Formation of the Udokan Group in the Kodar-Udokan trough. Doklady of the USSR Academy of Sciences 302 (5), 673–676 (in Russian) [Бережная Н.Г., Бибикина Е.В., Сочава А.Е. Изотопный возраст чинейской подсерии удоканской серии Кодаро-Удоканского прогиба // Доклады АН СССР. 1988. Т. 302. № 5. С. 673–676].

Bogdanov Yu.V., Iskanderova A.D., Levsky L.K., 1971. Age of Copper Deposits of the Udokan Group (Olekma-Vitim Mountain Area) According to the Uranium-Lead Method. Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series 9, 29–33 (in Russian) [Богданов Ю.В., Искандерова А.Д., Левский Л.К. Возраст меденосных отложений удоканской серии (Олекмо-Витимская горная страна) по данным уран-свинцового метода // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1971. № 9. С. 29–33].

Bogdanov Yu.V., Kochin G.G., Kutyrev E.I., Paradeeva L.N., Travin L.V., Trifonov N.P., Feoktistov V.P., 1966. Copper Deposits of the Olekma-Vitim Mountain Area. Nedra, Leningrad, 386 p. (in Russian) [Богданов Ю.В., Кочин Г.Г., Кутырев Э.И., Парадеева Л.Н., Травин Л.В., Трифионов Н.П., Феоктистов В.П. Медистые отложения Олекмо-Витимской горной страны. Л.: Недра, 1966. 386 с.].

Donskaya T.V., 2020. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from Paleoproterozoic Granitoids. Precambrian Research 348, 105869. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105869>.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., Lvov P.A., Demonterova E.I., Motova Z.L., 2020. Early Proterozoic Basic Magmatism in the South Siberian Postcollisional Magmatic Belt (by the Example of the Ust'-Ignok Massif of the Urik-Iya Graben). Russian Geology and Geophysics 9, 1165–1180 (in Russian) [Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Лепехина Е.Н., Львов П.А., Демонтерова Е.И., Мотова З.Л. Раннепротерозойский базитовый магматизм Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса (на примере Усть-Игнокского массива Урикско-Ийского грабена) // Геология и геофизика. 2020. № 9. С. 1165–1180]. <https://doi.org/10.15372/GiG2019138>.

Fedorovsky V.S., 1972. Lower Proterozoic Stratigraphy of Kodar and Udokan Ridges. Nauka, Moscow, 130 p. (in Russian) [Федоровский В.С. Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кодар и Удокан. М.: Наука, 1972. 130 с.].

Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Donskaya T.V., Motova Z.L., Vanin V.A., 2014. Precambrian Sedimentation in the Urik-Iya Graben, Southern Siberian Craton:

Main Stages and Tectonic Settings. Geotectonics 48, 359–370. <https://doi.org/10.1134/S0016852114050033>.

Kotov A.B., 2003. Boundary Conditions of Geodynamic Models for the Continental Crust Growth in the Aldan Shield. Brief PhD Thesis (Doctor of Geology and Mineralogy). Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Saint Petersburg, 78 p. (in Russian) [Котов А.Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2003. 78 с.].

Kotov A.B., Glebovitsky V.A., Kazansky V.I., Sal'nikova E.B., Pertsev N.N., Kovach V.P., Yakovleva S.Z., 2005. Age Boundaries of the Formation of Major Structures in the Central Aldan Shield. Doklady Earth Sciences 404 (6), 798–801 (in Russian) [Котов А.Б., Глебовицкий В.А., Казанский В.И., Сальникова Е.Б., Перцев Н.Н., Ковач В.П., Яковлева С.З. Возрастные границы формирования главных структурных элементов центральной части Алданского щита // Доклады Академии наук. 2005. Т. 404. № 6. С. 798–801].

Kotov A.B., Salnikova E.B., Kovach V.P., Velikoslavinskii S.D., Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Larin A.M., Tolmacheva E.V., Fedoseenko A.M., Plotkina Yu.V., 2018. The Younger Age Limit of Metasedimentary Protolith Formation of the Lower Part of the Udokan Group Rocks (Aldan Shield). Doklady Earth Sciences 479, 415–419. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18040025>.

Kotov A.B., Vladykin N.V., Larin A.M., Gladkochub D.P., Salnikova E.B., Sklyarov E.V., Tolmacheva E.V., Donskaya T.V., Velikoslavinsky S.D., Yakovleva S.Z., 2015. New Data on the Age of Ore Formation in the Unique Katugin Rare Metal Deposit (Aldan Shield). Doklady Earth Sciences 463, 663–667. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15070107>.

Kovach V.P., Kotov A.B., Gladkochub D.P., Tolmacheva E.V., Velikoslavinsky S.D., Gorokhovskiy B.M., Podkovyrov V.N., Zagornaya N.Yu., Plotkina Yu.V., 2018. Age and Sources of Meta-sandstone of the Chiney Subgroup (Udokan Group, Aldan Shield): Results of U-Th-Pb Geochronological (LA-ICP-MS) and Nd Isotope Study. Doklady Earth Sciences 482, 1138–1141. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18090155>.

Larin A.M., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Kovalenko V.I., Kovach V.P., Yakovleva S.Z., Berezhnaya N.G., Ivanov V.E., 2002. Age of the Katugin Ta-Nb Deposit, Aldan-Stanovoi Shield: Evidence for the Identification of the Global Rare Metal Metallogenic Epoch. Doklady Earth Sciences 383 (6), 807–811 (in Russian) [Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Коваленко В.И., Ковач В.П., Яковлева С.З., Бережная Н.Г., Иванов В.Э. О возрасте Катугинского Та-Nb-месторождения (Алдано-Становой щит): к проблеме выделения новой глобальной редкометалльной металлогенической эпохи // Доклады Академии наук. 2002. Т. 383. № 6. С. 807–811].

Larin A.M., Kotov A.B., Velikoslavinskii S.D., Sal'nikova E.B., Kovach V.P., 2012. Early Precambrian A-Granitoids in the Aldan Shield and Adjacent Mobile Belts: Sources and Geodynamic Environments. Petrology 20, 218–239. <https://doi.org/10.1134/S0869591112030034>.

Larin A.M., Sal'nikova E.B., Kotov A.B., Makar'ev L.B., Yakovleva S.Z., Kovach V.P., 2006. Early Proterozoic Syn-

and Postcollision Granites in the Northern Part of the Baikal Fold Area. *Stratigraphy and Geological Correlation* 14, 463–474. <https://doi.org/10.1134/S0869593806050017>.

Maslov A.V., Alekseev V.P., 2003. *Sedimentary Formations and Sedimentary Basins*. Publishing House of the Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, 203 p. (in Russian) [Маслов А.В., Алексеев В.П. Осадочные формации и осадочные бассейны. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 203 с.].

Perello J., Sillitoe R.H., Yakubchuk A.S., Valencia V.A., Cornejo P., 2017. Age and Tectonic Setting of the Udokan Sediment-Hosted Copper-Silver Deposit, Transbaikalia, Russia. *Ore Geology Reviews* 86, 856–866. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.11.004>.

Popov N.V., Kotov A.B., Postnikov A.A., Sal'nikova E.B., Shaporina M.N., Larin A.M., Yakovleva S.Z., Plotkina Yu.V., Fedoseenko A.M., 2009. Age and Tectonic Position of the Chiney Layered Massif, Aldan Shield. *Doklady Earth Sciences* 424, 64–67. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09010139>.

Salop L.I., 1964. *Geology of the Baikal Mountainous Area*. Vol. 1. Nedra, Moscow, 515 p. (in Russian) [Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. М.: Недра, 1964. Т. 1. 515 с].

State Geological Map of the Russian Federation, 1998. Scale 1:1000000. Sheet O-(50), 51 (Aldan). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 428 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Лист O-(50), 51 (Алдан): Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 428 с].

Tolstykh N.D., Orsoev D.A., Krivenko A.P., Izokh A.E., 2008. Noble Metal Mineralization in Layered Ultrabasite-Basite Massifs in the Southern Parts of the Siberian Platform. Parallel, Novosibirsk, 194 p. (in Russian) [Толстых Н.Д., Орсов Д.А., Кривенко А.П., Изох А.Э. Благороднометалльная минерализация в расслоенных ультрабазит-базитовых массивах юга Сибирской платформы. Новосибирск: Параллель, 2008. 194 с.].