

Прогнозирование новых золотороссыпных объектов на юго-западном окончании Куртушибинской металлогенической зоны на основании цифрового анализа рельефа

Макаров В. А.¹, Бабинцев Н. А.², Лосев В. И.^{1,3}, Межубовский В. В.¹, Сердюк С. С.⁴, Самородская М. А.¹

¹ Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия

² ООО «Андреевское», г. Красноярск, Россия

³ ООО «Нордголд Менеджмент», г. Москва, Россия

⁴ ООО «Сибирская компания разведки недр», г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье на основании построенных карт вершинных и базисных поверхностей разных уровней сделаны выводы об истории развития рельефа в пределах Куртушибинской металлогенической зоны. Выделены области сноса и накопления рыхлого материала на разных этапах. Построен контур ранее не выделявшейся потенциально золотоносной палеодолины р. Гагуль. Сделаны выводы о перспективах золотоносности данной палеоструктуры и сопряжённых с ней современных систем аллювиальных отложений. Выделены наиболее перспективные для постановки поисковых работ на россыпное золото участки.

Ключевые слова: Западный Саян, Куртушибинский хребет, Андреевское месторождение, Эйлигхемское месторождение, золото, россыпь.

Для цитирования: Макаров В. А., Бабинцев Н. А., Лосев В. И., Межубовский В. В., Сердюк С. С., Самородская М. А. Прогнозирование новых золотороссыпных объектов на юго-западном окончании Куртушибинской металлогенической зоны на основании цифрового анализа рельефа. Руды и металлы. 2024. № 1. С. 5–16. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10001.

Forecasting for new lode-placer gold objects in the southwestern ending of the Kurtushibinsky metallogenic zone, based on the digital relief analysis

Makarov V. A.¹, Babintsev N. A.², Losev V. I.^{1,3}, Mezhubovsky V. V.¹, Serdyuk S. S.⁴, Samorodskaya M. A.¹

¹ Siberian Federal University, Novosibirsk, Russia

² Andreevskoye LLC, Krasnoyarsk, Russia

³ Nordgold Management LLC, Moscow, Russia

⁴ Siberian Subsoil Exploration Company LLC, Krasnoyarsk, Russia

Annotation. The article provides conclusions on the history of development of the topography within the Kurtushibinsky metallogenic zone, based on compilation of maps of the vertex and base surfaces of different levels. The areas of erosion and accumulation of loose material, took place at different phases, have been distinguished. The outlines of the potentially gold-bearing Gagul River paleovalley were drawn, that was not previously identified. The prospect for gold of this paleostructure and its associated recent alluvial systems has been concluded. The sites most promising for placer gold exploration have been outlined.

Keywords: Western Sayan, Kurtushibinsky ridge, Andreevsky deposit, Eilig-Khem deposit, gold, placer.

For citation: Makarov V. A., Babintsev N. A., Losev V. I., Mezhubovsky V. V., Serdyuk S. S., Samorodskaya M. A. Forecasting for new lode-placer gold objects in the southwestern ending of the Kurtushibinsky metallogenic zone, based on the digital relief analysis. Ores and metals, 2024, № 1, pp. 5–16. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10001.



Введение. Куртушибинская металлогеническая зона (МЗ) находится на границе Красноярского края и Республики Тыва. Ключевым объектом промышленной разработки здесь исторически являлись россыпи золота, первые упоминания о которых датируются XIX в. Россыпи расположены в бассейнах рек Енисей (Верхний Енисей) и Ус, разделённых главным водоразделом площади – Куртушибинским хребтом, вытянутым в северо-восточном направлении. Его склоны размываются многочисленными правыми притоками Енисея и левыми притоками Уса. Наиболее крупные золотороссыпные объекты на юго-западе Куртушибинской МЗ выявлены в бассейнах рек Эйлиг-Хем, Урбун, Золотая, Тёплая и Макаровка, они отрабатывались с первой половины XX в. По данным фондовых материалов (А. Я. Вамбольдт, 1995), в общей сложности из бассейнов этих рек и их притоков на конец XX в. добыто около 8 т золота. Старательская отработка россыпей (в том числе техногенных) в бассейне р. Эйлиг-Хем продолжалась до 2007 г.

На сегодняшний день в данном регионе прогноз новых россыпных объектов с применением традиционных поисковых приёмов исчерпал себя, при этом интерес недропользователей к металлогенической зоне не снижается, что диктует необходимость применения оригинальных методик. Цель настоящего исследования – прогнозирование новых россыпей золота в пределах изученной территории на основании цифрового анализа рельефа в двухмерных программных средах.

Геологическая характеристика. Район исследования располагается в зоне сочленения нескольких крупных геоструктур, имеющих свои особенности стратиграфического разреза и тектонического строения (рис. 1): Куртушибинского офиолитового пояса (ОП), Центрально-Саянской (Джебашско-Амыльская подзона) и Хемчикско-Систигхемской структурно-формационных зон (СФЗ).

В Куртушибинском ОП выделены коярдская толща натровых базальтов верхнего рифея (?), карбонатно-терригенно-сланцево-метабазальтовая макаровская толща венда (?) и орешская толща нижнего кембрия.

В Центрально-Саянской СФЗ выделена Джебашско-Амыльская структурно-формационная подзона (СФПЗ), представленная терригенно-метабазальтово-кремнистой амыльской свитой венда–нижнего кембрия.

Хемчикско-Систигхемская СФЗ описывается без деления на подзоны, в ней выделяются нерасчленённые венд-нижнекембрийские отложения кремнисто-вулканогенной эжимской толщи, кембрийские отложения карбонатно-терригенной баянкольской свиты и карбонатно-терригенной молассовой с элементами пирокластической аласугской серии, а также ордовикские карбонатно-терригенные отложения шемушдагской и малиновской серий.

Разрез завершается аллювиальными, фрагментарно распространёнными водно-ледниковыми и моренными отложениями неоплейстоцена и голоцена. Аллювий представлен отложениями русла, поймы и трёх надпойменных террас, верхние из которых условно отнесены к верхнему звену неоплейстоцена, а нижние – к голоцену. Также, по последним данным, в районе работ значительно шире, чем это отражено в материалах геологического картирования, распространены мощные покровы рыхлых четвертичных отложений. Они представляют собой многоуровневые полигенные комплексы мощностью до 30 м, которые обнаруживаются как в долинах водотоков, так и на склонах Куртушибинского хребта.

В районе широко распространены кембрийские двухфазные интрузии габбро-тоналит-плагиогранитной формации, условно отнесённые к майнскому комплексу, а также более молодые силурийские интрузии бичебалыкского габбрового и большепорожнинского гранитоидного комплексов, которые нередко пространственно совмещены в сложнопостроенных массивах.

Тектоническая структура района определяется наличием серии протяжённых субширотных надвигов, обрамляющих структуры Куртушибинского ОП и трансформных субмеридиональных сдвига-сбросов, сочетание которых формирует сложное блоково-чешуйчатое строение со сложночитаемыми исходными пликативными структурами.

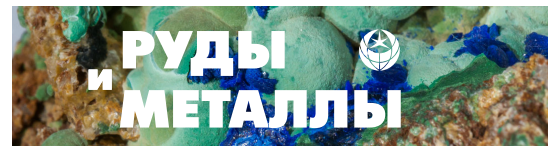
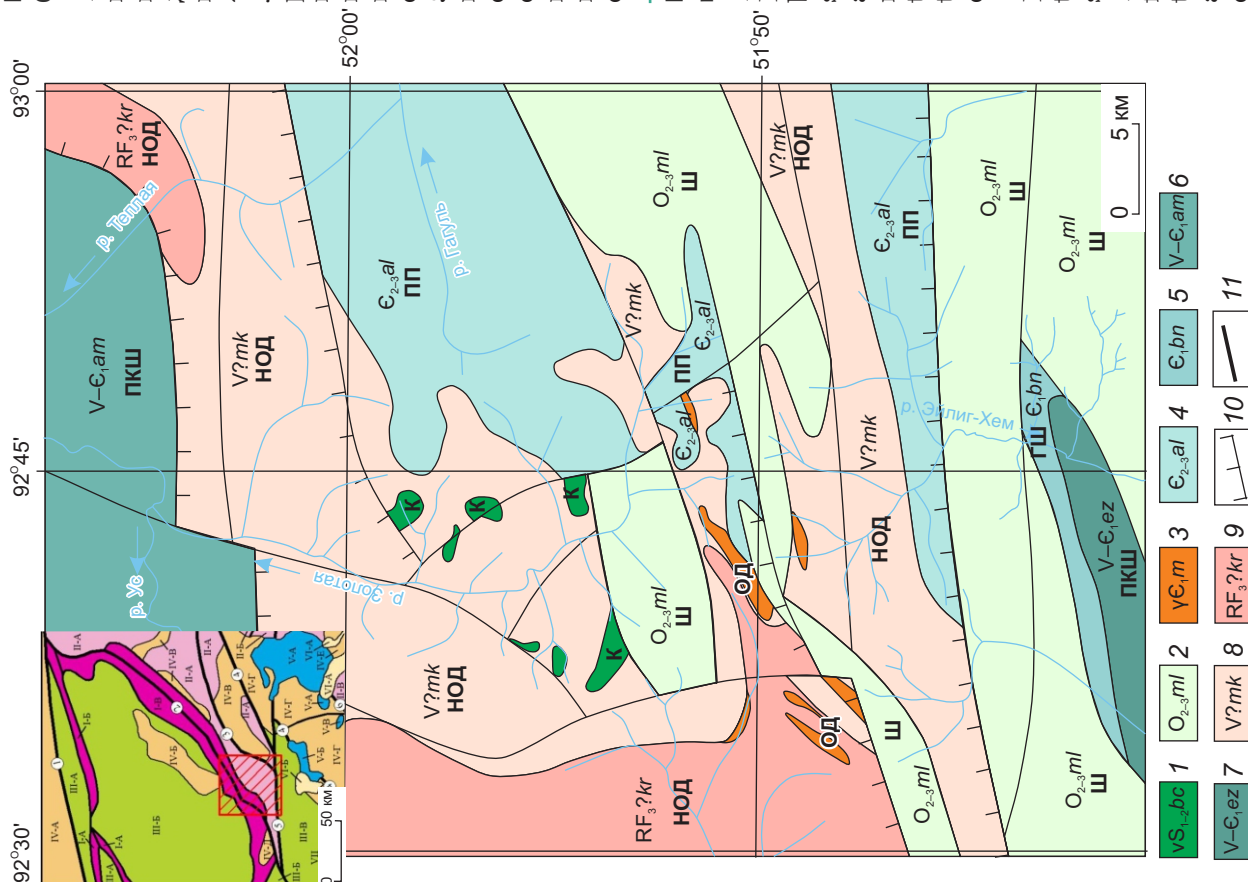


Рис. 1. Геологическая карта юго-западного окончания Куртушинской МЗ:

1 – силурийские интрузии габбро-гранитной формации большепорожнинского и бичебалыкского комплексов; 2 – ордовикские карбонатно-терригенные отложения малиновской и шемусдагской серий; 3 – кембрийские интрузии габбро-тоналит-плагиогранитной формации майнского и куртахского комплексов; 4 – позднекембрийские отложения карбонатно-терригенной молассовой с элементами пирокластической аласугской серии; 5 – раннекембрийские отложения карбонатно-терригенной байанкольской свиты; венд-раннекембрийские отложения: 6 – терригенно-метабазально-кремнистой амыльской свиты, 7 – кремнисто-вулканогенной эжимской толщи, 8 – терригенно-кремнисто-сланцево-метабазальтовых орешковской и макаровской толщ; 9 – верхнерифейские метабазальты коядской толщи; 10 – надвижки; 11 – разломы прочей морфологии; геодинамические обстановки: К – коллизии, Ш – шельфа пассивной окраины, ОД – островной дуги, ПП – преддуговых прогибов, ГШ – глубоководного шельфа, ПКШ – подножия континентального шельфа, НОД – незрелых островных дуг; на врезке – положение фрагмента в структурах Западного Саяна

Fig. 1. Geological map of the southwestern ending of the Kurtushibinsky metallogenic zone:

1 – Silurian intrusions of the gabbro-granite association of the Bolsheporozhninsky and Bichebalyksky suites; 2 – Ordovician carbonate-terrigenous deposits of the Malinovskaya and Shemushdag series; 3 – Cambrian intrusions of the gabbro-tonalite-plagiogranite association of the Mainsky and Kurtakhsy suites; 4 – Late Cambrian deposits of the carbonate-terrigenous pyroclastic molasses of the Alasug series; 5 – Early Cambrian deposits of the carbonate-terrigenous Bayankolsky formation; 6 – Vendian-Early Cambrian deposits of the terrigenous-metabasalt-siliceous Amyl formation; 7 – Vendian-Early Cambrian deposits of the cherty-volcanogenic Edzinsk sequence; 8 – Vendian-Early Cambrian deposits of the terrigenous-cherty-shaly-metabasalt Oreshkovskaya and Makarovskaya sequences; 9 – Late Riphean metabasalts of the Koyad sequence; 10 – thrusts; 11 – faults of other types; The letter designations before the ages of the formations characterize the geodynamic settings: K – collisions; Ш – shelf of the passive margin; ОД – island arc; ПП – fore-arc troughs; ГШ – deep-sea shelf; ПКШ – foot of the continental shelf; НОД – immature island arcs. The inset shows the position of the fragment in the Western Sayan structures



Золотоносность. Коренная золотоносность района связана с двумя рудными полями (Андреевским и Эйлиг-Хемским) и тремя перспективными рудными зонами, которые выделены по комплексу критериев и признаков (Хайлыкская, Атысская и Валентиновская).

Андреевское и Эйлиг-Хемское рудные поля приурочены к двум параллельно расположенным изоклинальным выступам Хайлыкской антиклинали, в ядре которой вскрываются метавулканиды коярдской толщи, вверх по разрезу сменяющиеся вулканогенно-осадочными, а затем осадочными сериями макаровской и орешской толщ. Рудные поля наследуют структуры вмещающих толщ и приурочены к субширотным разрывным нарушениям и линейным интрузиям двухфазного майнского комплекса. В их пределах закартированы кулисообразно расположенные субпараллельные рудные зоны, характер оруденения в которых закономерно изменяется от осей изоклиналей к их крыльям: в осевой части складок рудные зоны представляют собой серии узких изолированных и интенсивно тектонизированных кварцево-жильных тел, а на крыльях – обширные зоны метасоматоза, в ядерных частях которых обнаруживаются полнопроявленные березиты либо листвениты (в зависимости от состава субстрата). Рудные зоны обнаруживаются как в стратифицированных вулканогенно-осадочных толщах, так и внутри контуров двухфазных габбро-плагиогранитных интрузивов. С последними рудные тела имеют парагенетическую связь, однако руды обнаруживаются и на отдалении 1–2 км от интрузий.

Руды объектов характеризуются средними содержаниями Au на уровне 1,1–2,7 г/т, а на Эйлиг-Хемском рудном поле также sporadически отмечается Ag в концентрациях первые г/т. Руды относятся к золото-малосульфидно-кварцевому типу, подавляющая часть золота в рудах находится в свободной форме, причём около 35 % – золотины класса +0,1 мм. Форма нахождения золота, расчленённость и разнообразие рельефа делают эти объекты превосходным источником для формирования россыпей.

Современные работы оценивают суммарные ресурсы рудного золота Андреевского и

Эйлиг-Хемского рудных полей по кат. P_1 и P_2 в 60 т (Н. Б. Кононенко, 2012; В. К. Оябрь, 2013).

Хайлыкская перспективная рудная зона расположена в бассейне ручьёв Большой и Малый Хайлык. Здесь обнаруживаются тектонизированные и лиственитизированные метавулканиды коярдской толщи, обогащённые сульфидами, в которых отмечены содержания золота до 0,4 г/т. Объекты относятся к золото-сульфидному типу, изучены слабо.

Валентиновская перспективная рудная зона располагается между ручьями Весёлый и Валентиновский и р. Гагуль. Здесь известно Успенское проявление золота, расположенное в приустьевой части одноимённого ручья и представляющее собой жильно-прожилково-вкрапленную малосульфидно-кварцевую зону в толще чёрных сланцев, где отмечены содержания золота 0,2–2,2 г/т. Прочие объекты этой зоны – разрозненные пункты прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой минерализации с содержаниями золота до 0,4 г/т в экзоконтакте габбро-гранитного массива.

Атысская перспективная рудная зона располагается в бассейнах рек Малый и Большой Атыс и выделена по косвенным геолого-геохимическим признакам. Детально не изучалась.

Как видно на рис. 2, всем вышеперечисленным рудным полям и перспективным зонам сопутствуют ранее выявленные и в основном отработанные россыпи золота. Исключение составляет россыпь р. Тёплой, причины чего будут описаны в выводах. В районе работ известны три типа аллювиальных россыпей: русловые, долинные и террасовые.

Русловые россыпи распространены на участках рек, текущих на коренном ложе со слабо развитым аллювием (мощность 1–2 м). Отрабатывались в начале XX в. в связи с лёгкой доступностью и в данный момент интереса не представляют из-за крайне малых объёмов.

Террасовые и долинные россыпи представляют собой связанную систему, постепенно эволюционирующую во времени. **Террасовые россыпи** отмечаются на всех трёх уровнях террас в районе работ, однако они существенно отличаются по продуктивности. Россыпи третьей надпойменной террасы промышленного

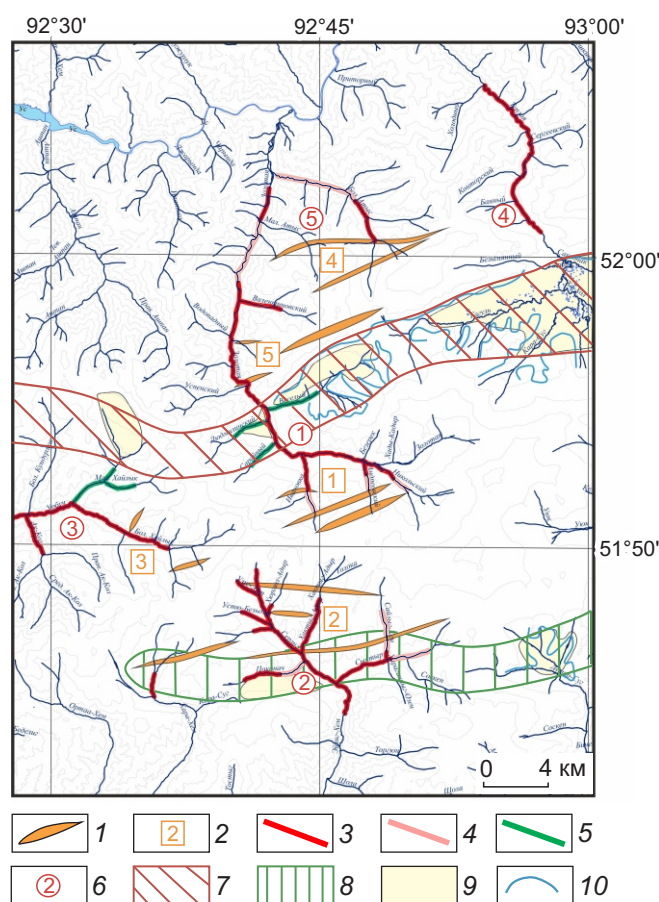
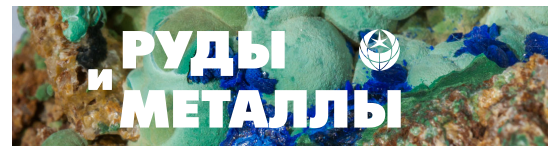


Рис. 2. Схема размещения золоторудных и россыпных объектов с результатами цифрового анализа рельефа и прогнозом россыпной золотоносности:

1 – золоторудные зоны; 2 – рудные поля (1 – Андреевское, 2 – Эйлиг-Хемское, 3 – Хайлыкское, 4 – Атысское, 5 – Валентиновское); аллювиальные россыпи: 3 – выявленные и отработывавшиеся ранее, 4 – прогнозируемые традиционными приёмами, 5 – прогнозируемые по цифровому анализу рельефа; 6 – системы россыпей бассейнов рек: 1 – Золотая, 2 – Эйлиг-Хем, 3 – Урбун, 4 – Тёплая, 5 – Атыс; контуры, выделенные цифровым анализом рельефа: 7 – золотоносной Гагульской палеодолины, 8 – Серлигской зоны новейших тектонических подвижек; 9 – четвертичные отложения неустановленного генезиса (мощность > 10 м); 10 – вогнутые перегибы рельефа, очерчивающие контуры современных внутригорных впадин

Fig. 2. Schematic map showing the lode and placer gold objects, with results of the digital relief analysis and a forecast for the placer gold-bearing potential:

1 – zones of primary gold mineralization; 2 – ore fields (1 – Andreevskoe, 2 – Eilig-Khemscoe, 3 – Khailyskoe, 4 – Atyskoe, 5 – Valentinovskoe); alluvial placers: 3 – discovered and mined by predecessors, 4 – forecasted using traditional techniques, 5 – forecasted based on the digital relief analysis; 6 – river basin placer systems: 1 – Zolotaya, 2 – Eilig-Khem, 3 – Urbun, 4 – Teplaya, 5 – Atys); 7 – gold-bearing Gagul paleovale outlines distinguished based on the digital relief analysis; 8 – outlines of the Serligskaya zone of the neotectonic movements, distinguished based on the digital relief analysis; 9 – fields of quaternary sediments of unidentified genesis in excess of 10 m thick; 10 – concave relief inflections outlining recent intra-mountain depressions

интереса не представляют, так как содержания золота в них на уровне десятков мг/м³. В пределах второй надпойменной террасы отмечаются содержания до первых сотен мг/м³, а первые надпойменные террасы характеризуются уже средними содержаниями на уровне 400–600 мг/м³. Строение россыпей на всех террасах идентичное – золото приурочено к спаевой части аллювиальных отложений и коренных пород. Сами террасы при этом зачастую перекрыты чехлом делювиально-солифлюкционных отложений, мощность которых закономерно растёт от нижних террас к верхним и достигает участками десятков метров.

Долинные россыпи наиболее продуктивны и характеризуются на отдельных участках средними содержаниями в первые г/м³. Они

неоднородны, и их строение зависит в первую очередь от геоморфологических условий. В пределах относительно узких долин формируются простые россыпи с мощностью аллювия 4–6 м и одним маломощным (0,5–1 м) золотоносным пластом в спаевой части на плотике коренных пород. В пределах широких межгорных впадин (например, в среднем течении р. Золотой и в верхнем течении р. Эйлиг-Хем) отмечается сразу несколько уровней террас, а плоские долины 400–600 м шириной характеризуются двухуровневым строением: в основании разреза залегает высокоглинистый горизонт более древнего аллювия (возможно, переработанная кора выветривания), а сверху на нём с размывом – современный галечно-песчаный аллювий. Сама россыпь здесь так-

же сложного строения: самый продуктивный пласт залегает в подошве современного аллювия на плотике глинистых отложений и достигает мощности 2 м при средних содержаниях $500\text{--}1500\text{ мг/м}^3$, а в нижележащем глинистом аллювии золото отмечается в виде линзовидных залежей как на плотике коренных пород, так и выше по разрезу. Характерно, что содержания золота в верхнем горизонте в несколько раз больше, чем в глинистых отложениях основания разреза.

Анализируя строение долинных и террасовых россыпей, следует отметить, что здесь наблюдается их отчётливая эволюция, заключающаяся в последовательном обогащении аллювия при изменении базиса эрозии. Каждый последующий уровень аллювиальных отложений (от верхних террас к современным поймам) становился всё богаче золотом, и этот процесс, по-видимому, продолжается и сейчас. При этом россыпи в ходе переотложения не переносились на большие расстояния, а оставались на удалении не более нескольких километров от коренного источника. С учётом относительно слабой эрозионной проработки в районе расположения коренных объектов можно сделать вывод о том, что ключевой фактор продуктивности россыпи в районе – именно геоморфологические особенности, а не собственно степень эрозии рудных зон. В межгорных впадинах с мощным сложнопостроенным чехлом рыхлых отложений отмечается не только самый большой объём золотоносных песков, но и самые высокие содержания золота. Яркий пример – межгорная впадина в среднем течении р. Золотой, находящаяся на удалении 5–10 км от коренного источника и характеризующаяся самыми богатыми отложениями, которые резко истощаются сразу по выходу реки из этой геоморфологической структуры.

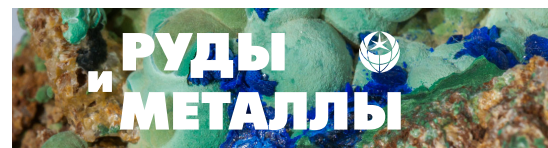
Вышеописанные долинные россыпи практически полностью отработаны (за исключением части верховий р. Золотой и её притоков); террасовые россыпи, представляющие промышленный интерес, также отработаны.

Методика исследований. Расположение коренных источников золота в пределах изу-

ченной территории таково, что большая часть водотоков является потенциально золотоносными (см. рис. 2), и, как указывалось выше, решающую роль в формировании россыпей здесь играют геоморфологические особенности того или иного участка водотока. Опираясь на опыт разработки россыпей района, мы сделали вывод, что наибольший интерес здесь представляют площадные структуры, в которых сочетается несколько уровней рыхлых отложений. Цель данного исследования – на основании цифрового анализа рельефа выявить ранее не описанные крупные геоморфологические палеоструктуры, которые не определяются методами традиционной визуальной оценки современного состояния рельефа: древние долины рек, озёра, межгорные впадины, фрагменты которых сохранились до наших дней.

На основании рельефа топокарт масштаба 1 : 50 000 с помощью соответствующих инструментов ArcGIS были построены цифровая модель рельефа (ЦМР), серия производных синтетических карт, профили поверхности разного направления и продольные профили речных русел. Выполнен морфометрический анализ рельефа с выделением хребтов и тальвегов. Порядок объектов определялся по методу Страхлера (порядок повышается при встрече двух линий одинакового порядка). Векторные объекты хребтов и тальвегов впоследствии были переведены в серии точек, расположенных на расстоянии 10 м друг от друга. Для всех точек по цифровой модели рельефа были определены абсолютные высоты.

На основании точечных объектов средствами ArcGIS были построены карты вершинных и базисных поверхностей разных порядков. Под базисными подразумеваются поверхности, соединяющие поймы рек и тальвеги оврагов, под вершинными – соединяющие точки вершин и линии хребтов. Поверхность первого порядка построена по всем объектам, кроме объектов нулевого порядка, аналогично поверхность второго порядка построена без объектов первого порядка, и так далее. Чем выше порядок базисной или вершинной поверхности, тем более древний этап развития релье-



фа она представляет. Поверхности высоких порядков помогают составить впечатление о форме земной поверхности, существовавшей в более ранние периоды. На основании базисных поверхностей можно наглядно продемонстрировать процессы эрозии, вершинные поверхности, в свою очередь, показывают относительно равновесные участки рельефа.

Далее построены карты разности вершинных и базисных поверхностей одного порядка, которые иллюстрируют крупные геоморфологические структуры ранних периодов, поиск которых и является целью анализа рельефа. Выявленные палеоструктуры анализировались на перспективность обнаружения золотороссыпных объектов на основании традиционных поисковых критериев и признаков.

Результаты анализа рельефа. Визуальный анализ ЦМР показывает, что на облик рельефа исследуемой территории сильное влияние оказывает геологическое строение. Древние геологические структуры определяют общий облик поверхности, а новейшие тектонические нарушения оказывают влияние на русла рек и положение эрозионных врезов. Так, например, обращает на себя внимание изломанная конфигурация долин рек Беделиг, Орта-Хем, Кара-Хем и Эйлиг-Хем, по которым уверенно трассируется новейшее тектоническое движение, произошедшее, когда долины ручьёв были уже хорошо сформированы.

Характерной особенностью территории, отличающей её от типичных горных ландшафтов, является широкое распространение ландшафтов эрозионного и денудационного накопления. На исследуемой территории такие участки, где накапливаются рыхлые продукты выветривания, местами образуют обширные плоские, часто заболоченные равнины, резко очерченные крутыми денудационно-эрозионными склонами. По своей конфигурации они напоминают широкие ледниковые трог – долины с широким плоским дном и крутыми бортами. Сходная с ледниковой форма долин образовалась тут благодаря заполнению долин, которые уже были глубокими, большим количеством рыхлых отложений. Такие ландшафты можно назвать внутригорными впадина-

ми. Так как изучение этих элементов затруднено, а в рельефе они не всегда хорошо читаются, разные авторы дают разные контуры на геологических картах и различные геолого-генетические характеристики, от ледниковых до аллювиальных.

История развития рельефа была воссоздана на основе исследования карт базисных и вершинных поверхностей (рис. 3) первого, второго и третьего порядков по описанной выше методике. Карта разностей уровня вершинных поверхностей (рис. 4, а) отражает области, которые в разное время формирования современного рельефа были благоприятны для осадконакопления. Для оценки интенсивности эрозионных процессов показательна построенная карта разности вершинных и базисных поверхностей (см. рис. 4, б). Области с высокой разностью характеризуются длительным и активным развитием современных процессов эрозии. Напротив, области низкой разности характеризуются равновесным состоянием.

По результатам анализа указанных выше карт можно отметить следующее:

1. Наиболее древние и устойчивые области осадконакопления соответствуют крупным водотокам: рекам Ус, Тёплая, Золотая, Эйлиг-Хем и руч. Демир-Суг. Однако по разностям уровня вершинных поверхностей отчётливо выделяется область в створе р. Гагуль – руч. Весёлый – руч. Людмилинский – руч. Малый Хайлык, которая не соотносится ни с геологическими, ни с современными геоморфологическими элементами (см. рис. 4, а);

2. Вышеописанной области в створе р. Гагуль и руч. Малый Хайлык соответствует равновесная область низкой активности эрозионных процессов (см. рис. 4, б), что в комплексе с положением параллельно долинам рек Ус и Верхний Енисей позволяет определять её как речную палеодолину. Она трассируется фрагментарно закартированными мощными отложениями рыхлого комплекса, которые описаны как отложения верхних террас, флювиогляциальные или просто нерасчленённые четвертичные;

3. Схожая равновесная область выделена в субширотном направлении в верховьях рек

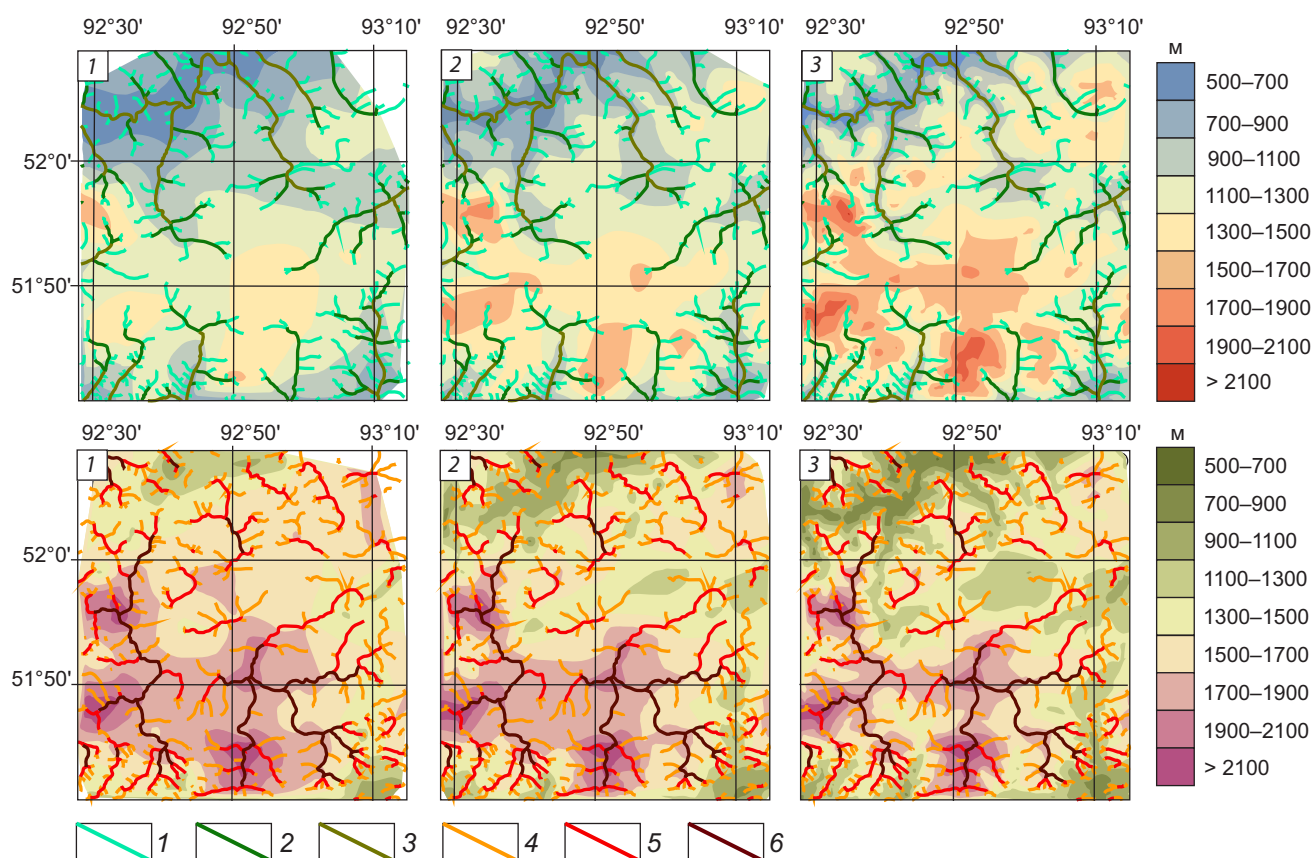


Рис. 3. Карты уровней базисных (сверху) и вершинных (снизу) поверхностей: 1 – 3-го порядка, 2 – 2-го порядка, 3 – 1-го порядка:

талвеги: 1 – 3-го порядка, 2 – 4-го порядка, 3 – > 5-го порядка; хребты: 4 – 3-го порядка, 5 – 4-го порядка, 6 – > 5-го порядка

Fig. 3. Maps of the levels of the base (top) and vertex (bottom) surfaces: 1 – third-order, 2 – second-order, 3 – first-order:
thalwegs: 1 – 3rd order, 2 – 4th order, 3 – > 5th order; ridges: 4 – 3rd order, 5 – 4th order, 6 – > 5th order

Орта-Хем – Кара-Хем – Эйлиг-Хем – Кара-Суг, однако здесь она, вероятно, связана с новейшими тектоническими движениями и для неё нехарактерна большая разность уровней вершинных поверхностей. При этом область также трассируется фрагментарно закартированными мощными отложениями рыхлого комплекса.

Таким образом, по результатам анализа рельефа выделены Гагульская речная палеодолина (древний водоток, параллельный рекам Ус и Верхний Енисей) и Серлигская зона новейших тектонических подвижек, вдоль которой активизировались процессы осадконакопления.

Перспективность золотоносности выявленных структур. Ключевым результатом анализа рельефа стало выявление Гагульской палеодолины (см. рис. 2). Главной современной точкой стока из Гагульской котловины (расположенной в северо-восточном основании палеодолины) является р. Тёплая, долина которой практически на всём протяжении разрабатывалась старателями-золотопромышленниками. При этом многочисленные и довольно детальные поиски рудного золота в верховьях р. Тёплой не увенчались успехом, и, более того, здесь после проведения полного комплекса опережающих поисковых работ отсутствуют значимые признаки золотого оруденения. Это,

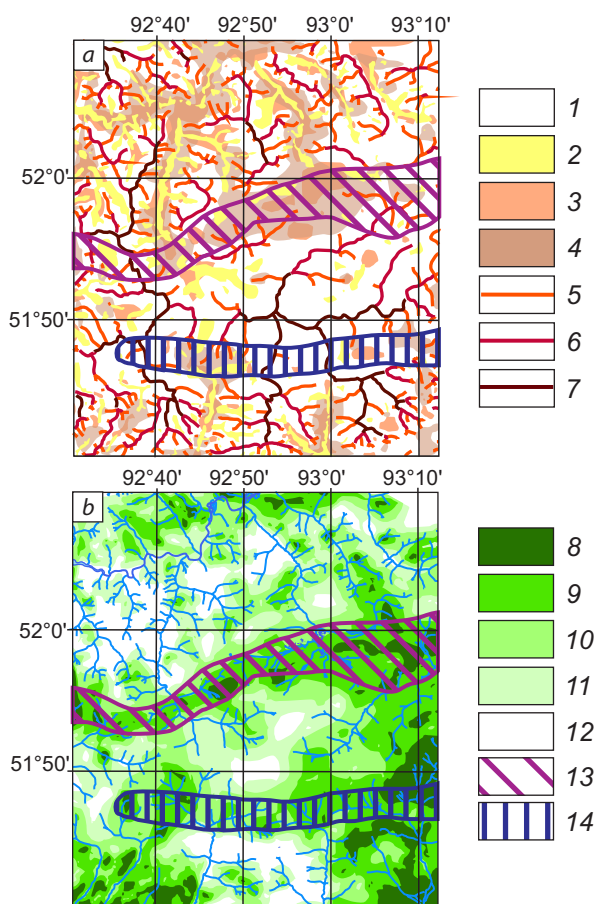
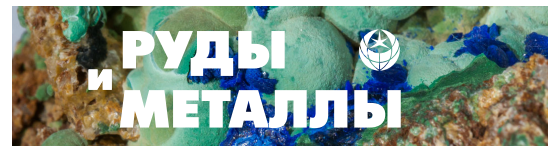


Рис. 4. Карты разностей уровней соседних вершинных поверхностей (а) и вершинных и базисных поверхностей 2-го порядка (b):

a: 1 – любых порядков < 150 м, 2 – нулевого и 1-го порядков > 150 м, 3 – 1-го и 2-го порядков > 150 м, 4 – 2-го и 3-го порядков > 150 м; хребты: 5 – 3-го порядка, 6 – 4-го порядка, 7 – > 5-го порядка;

b: 8 – < 200 м, 9 – 200–300 м, 10 – 300–400 м, 11 – 400–500 м, 12 – > 500 м; выделенные на основе цифрового анализа рельефа: 13 – контур золотоносной Гагульской палеодолины; 14 – контур Серлигской зоны новейших тектонических подвижек

Fig. 4 – Maps showing the level differences: between the neighboring vertex surfaces (a) and between vertex and base surfaces of the second order (b):

a: 1 – of any order < 150 m, 2 – of the zero and 1st orders > 150 m, 3 – of the 1st and 2nd orders > 150 m, 4 – of the 2nd and 3rd orders > 150 m; ridges: 5 – of the 3rd order, 6 – 4th order, 7 – > 5th order;

b: 8 – < 200 m, 9 – 200–300 m, 10 – 300–400 m, 11 – 400–500 m, 12 – > 500 m; isolated on the basis of digital terrain analysis: 13 – map of the gold-bearing Gagul paleodoline; 14 – contour of the Serliga zone of the latest tectonic movements

а также факт высокой степени окатанности золота на всём протяжении россыпи р. Тёплой позволяет сделать вывод, что источником золота для её россыпи являются рыхлые отложения Гагульской палеодолины, которая золотоносна сама по себе. Этот факт объясняет и наличие необычайно богатого золотом участка р. Золотой в месте пересечения с палеодолиной. Он расположен на расстоянии 10 км от коренного источника, не характеризуется наличием геоморфологических ловушек, но является самым богатым на р. Золотой.

При этом наиболее сохранный часть палеодолины (Гагульская котловина), во-первых, находится на территории одноимённого заказника (а значит, в обозримом будущем не может быть объектом геологоразведки), а во-вторых, представляет собой долину в несколько километров шириной при мощности отложений рыхлого комплекса 20 м и более. Разведка такого объекта будет крайне затратной, кроме того, судя по материалам изучения верхних террас других водотоков (по сути являющихся реликтами их палеодолин), больших содержания золота здесь ждать не приходится. Концентратор золота в данном случае – отложения водотоков, которые уже переработали или продолжают перерабатывать отложения палеодолины, а именно:

1. Река Тёплая – современный сток из Гагульской котловины – пересекает её поперёк. Известна богатой россыпью, хотя рекой переработан лишь край палеодолины. В современном виде россыпь реки полностью отработана.

2. Ручей Весёлый, протекающий непосредственно в створе палеодолины. В среднем и верхнем течении закартированы обширные отложения рыхлого комплекса – по-видимому, реликты палеодолины. В нижнем течении древний аллювий переработан полностью. Несмотря на то что в материалах ГГК в приустьевой части ручья отмечена россыпь золота, фактически по материалам предшественников 1920–1940-х гг. установлено, что геологоразведочные работы на руч. Весёлом не проводились.

3. Ручьи Людмилинский и Сарайный, как и Весёлый, протекают в створе палеодолины, размывая её. Здесь в нижнем течении закар-

тированы обширные отложения рыхлого комплекса, которые, судя по положению, являются уже переотложенным древним аллювием. Россыпь не отрабатывалась и не изучалась.

4. Ручьи Малый Хайлык и Большой Кундурлюк аналогично р. Тёплой разрезают палеодолину поперёк. Долина руч. Большой Кундурлюк плохо сформирована, и наличие значимой россыпи маловероятно. В верховьях Малого Хайлыка закартирован реликт палеодолины, в нижнем течении – современный аллювий. Россыпь не отрабатывалась и не изучалась.

Современный аллювий перечисленных водотоков – перспективный источник богатых россыпей. Как показывает опыт разведки и разработки россыпей района, именно из многократно переработанного слабозолотоносного древнего аллювия здесь формируются самые богатые золотороссыпные объекты. При этом с учётом крупных реликтов древнего аллювия в верхних течениях этих водотоков наиболее перспективными фрагментами являются их низовья, полностью сложенные современными отложениями.

Серлигская зона новейших тектонических подвижек трассируется полями современных обширных рыхлых отложений, однако интерес в плане золотоносности они представляют только в районе Эйлиг-Хемского рудного поля, где уже опойсканы и в наиболее интересных фрагментах отработаны. Сама же по себе зона неотектоники с золотоносностью не связана и служить элементом прогноза не может.

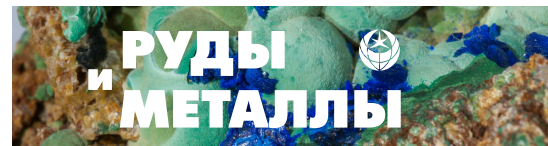
Выводы. Поверхности первого порядка слишком молоды, чтобы отражать историю развития рельефа, однако именно в них находятся современные аллювиальные россыпи. Реконструкция палеоструктур на основании карт поверхностей 2–3-го порядков позволила восстановить историю развития рельефа и выявить участки водотоков, потенциал золотоносности которых связан с вторичной переработкой слабозолотоносного древнего аллювия. На основании анализа современного и реконструированного древнего рельефа сделан вывод о трёхэтапном формировании россыпей района.

На первом этапе были сформированы обширные слабозолотоносные отложения за счёт эрозии коренных источников в пределах Куртушибинской МЗ. Низкий уровень эрозионного среза и обильное осадконакопление обусловили формирование бедных, но обширных россыпей золота. Одной из таких россыпей стала россыпь древнего Гагуля, который, располагаясь параллельно р. Ус, был одним из ключевых водотоков древней гидросети.

На втором этапе формирования рельефа происходит существенное смещение областей эрозии. Древний Гагуль частично входит в гидросеть притоков р. Ус, частично сохраняется в виде заболоченных фрагментов палеодолины на пологих водоразделах. Уже сформированные россыпи перемываются современным аллювием притоков рек Ус и Енисей либо погребаются под мощным слоем отложений разного генезиса. Уровень эрозионного среза крупнейших рудных объектов понижается, и ценный компонент продолжает поступать в россыпь. Этот этап фиксируется по наличию единых фрагментов с существенно различающейся степенью окатанности золота.

На третьем этапе происходит окончательное уничтожение палеоаллювия за пределами Гагульской котловины. В водотоках вне связи с коренными источниками (р. Тёплая) формируются небольшие, но богатые россыпи, образованные за счёт повторного обогащения палеороссыпи Гагуля. В водотоках, связанных с коренными источниками, происходит формирование наиболее богатых долинных россыпей в реках района. На участке пересечения палеодолины с современной россыпью, в долине р. Золотой, формируется богатейший и по запасам, и по содержаниям фрагмент.

В современном виде самые богатые россыпи, сформированные путём многократного переобогащения более древних, отработаны. Это россыпи долин и нижней террасы рек Золотая, Эйлиг-Хем и Урбун. Более мелкие объекты, сформированные как из первичных источников (верховья рек Золотая и Эйлиг-Хем с притоками), так и из переобогащённого древнего аллювия (р. Тёплая), были выявлены ввиду их лёгкой доступности. Россыпи здесь залегают



неглубоко, а сам аллювий простого строения. На высоких террасах и в погребённых частях долин россыпи известны, однако в связи с относительно низкими содержаниями и большой вскрышей интереса сегодня они не представляют.

Реконструкция границ Гагульской палеодолины позволяет прогнозировать ранее невыявленные россыпи в долинах ручьёв Весёлый, Людмилинский, Сарайный и Малый Хайлык. Золотопромышленники начала XX в. пытались изучать эти водотоки, но их старания не увенчались успехом ввиду сложного разреза

и несовершенства технических средств. Сегодня же на основании комплексного анализа выделены фрагменты водотоков (см. рис. 2), рекомендованные к первоочередному изучению. Ключевыми критериями выделения данных фрагментов стало пересечение ими золотоносной Гагульской палеодолины и наличие хорошо проработанной долины. Учитывая, что количество переработанного материала палеороссыпи в долинах ручьёв Весёлый, Людмилинский и Сарайный существенно больше, чем в долине р. Тёплой, здесь можно ожидать серию промышленно значимых объектов.

Список литературы

1. Ахмедов Д. А. Характер размещения россыпной золотоносности в Куртушибинской металлогенической зоне (Западный Саян) // Тезисы докладов III Молодёжной научно-образовательной конференции «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». – М.: ЦНИГРИ, 2022. – С. 14–19.
2. Бабинцев Н. А. Перспективы золотоносности Хайлыгского рудного узла (Западный Саян) // Материалы X Конференции «Цветные металлы и минералы». – Красноярск, 2018. – С. 1174–1184.
3. Лебедев В. И. Полезные ископаемые Тувы и сопредельных территорий. – М.: ДеЛиБри, 2018. – 494 с.
4. Ляшенко О. В. Сравнительная тектоника Куртушибинского и Восточно-Саянского офиолитовых поясов (Алтае-Саянская складчатая область): дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук. – М., 1984. – 192 с.
5. Монгуш А. А. Геолого-тектоническая схема Тувы и приграничных территорий // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: материалы Международной научно-практической конференции (14–15 октября 2015, Кызыл, Россия) / Отв. ред. Г. Ф. Балакина. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2015. – С. 15–16.
6. Монгуш А. А., Лебедев В. И., Травин А. В., Ярмолюк В. В. Офиолиты Западной Тувы – фрагменты поздневендской островной дуги Палеоазиатского океана // Доклады академии наук. – 2011. – Т. 438, № 6. – С. 796–802.
7. Прудников С. Г. Закономерности размещения россыпей золота в морфоструктурах Тувы и Западного Саяна: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения»: дис. на соискание учёного степ. канд. геол.-минерал. наук / Прудников Сергей Григорьевич. – Кызыл, 2004. – 282 с.
8. Хертек Ч. М., Прудников С. Г. Сравнительная характеристика россыпного и коренного золота Эйлиг-Хемского золотоносного района Тувы // Природные системы и экономика Центрально-Азиатского региона: фундаментальные проблемы и перспективы рационального использования: материалы конференции. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. – С. 109–112.

References

1. Akhmedov D. A. Kharakter razmeshcheniya rossypnoi zolotonosnosti v Kurtushibinskoi metallogenicheskoi zone (Zapadnyi Sayan) [The nature of placer gold content placement in the Kurtushibinsk metallogenic zone (Western Sayan)], *Tezisy dokladov III Molodezhnoi nauchno-obrazovatel'noi konferentsii "Mineral'no-syr'evaya bazaalmazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallovo – ot prognoza k dobyche"* [Abstracts of reports of the III Youth Scientific and Educational Conference "Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals – from the forecast to mining"], Moscow, TsNIGRI Publ., 2022, pp. 14–19.
2. Babintsev N. A. Perspektivy zolotonosnosti Khailyskogo rudnogo uzla (Zapadnyi Sayan) [Prospects of gold content of the Khailig ore node (Western Sayan)], *Materialy X Konferentsii "Tsvetnye metally i mineraly"* [Materials of the X Conference "Non-

- ferrous metals and minerals*"], Krasnoyarsk, 2018, pp. 1174–1184.
3. Lebedev V. I. Poleznye iskopaemye Tuvy i sopredel'nykh territorii [Minerals of Tuva and adjacent territories], Moscow, De'Libri Publ., 2018, 494 p.
 4. Lyashenko O. V. Sravnitel'naya tektonika Kurtushibinskogo i Vostochno-Sayanskogo ofiolitovykh pojasov (Altai-Sayanskaya skladchataya oblast') [Comparative tectonics of the Kurtushibinsky and East Sayan ophiolite belts (Altai-Sayan folded region): candidate's thesis], Moscow, 1984, 192 p.
 5. Mongush A. A. Geologo-tektonicheskaya skhema Tuvy i prigranichnykh territorii [Geological and tectonic scheme of Tuva and border territories], *Regional'naya ekonomika: tekhnologii, ekonomika, ekologiya i infrastruktura: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (14–15 oktyabrya 2015, Kyzyl, Rossiya)* [Regional economy: technologies, economics, ecology and infrastructure: materials of the International Scientific and Practical Conference (October 14–15, 2015, Kyzyl, Russia)], eds. G. F. Balakina, Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN Publ., 2015, pp. 15–16.
 6. Mongush A. A., Lebedev V. I., Travin A. V., Yarmolyuk V. V. Ofiolity Zapadnoi Tuvy – fragmenty pozdnevendskoi ostrovnoi dugi Paleoaziatskogo okeana [Ophiolites of Western Tyva as fragments of a late vendian island arc of the paleoasian ocean], *Doklady akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2011, V. 438, No 6, pp. 796–802. (In Russ.).
 7. Prudnikov S. G. Zakonomernosti razmeshcheniya rossypei zolota v morfostrukturakh Tuvy i Zapadnogo Sayana [Patterns of placement of gold placers in the morphostructures of Tuva and Western Sayan: candidate's thesis], Kyzyl, 2004, 282 p.
 8. Khertek Ch. M., Prudnikov S. G. Sravnitel'naya kharakteristika rossypnogo i korenno zolota Eiligkhenskogo zolotonosnogo raiona Tuvy [Comparative characteristics of placer and indigenous gold of the Eilig-Khem gold-bearing region of Tuva], *Prirodnye sistemy i ekonomika Tsentral'no-Aziatskogo regiona: fundamental'nye problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Natural systems and economics of the Central Asian region: fundamental problems and prospects of rational use], Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN Publ., 2017, pp. 109–112.

Макаров Владимир Александрович (vmakarov58s@mail.ru)

доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой ¹

Бабинцев Никита Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук, главный геолог ²

Лосев Владимир Иванович

менеджер ГРП ³, аспирант ¹

Межубовский Владимир Владимирович

кандидат геолого-минералогических наук, инженер-исследователь ¹

Сердюк Сергей Станиславович

доктор геолого-минералогических наук, главный геолог ⁴

Самородская Мария Александровна

инженер-исследователь ¹

¹ Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия

² ООО «Андреевское», г. Красноярск, Россия

³ ООО «Нордголд Менеджмент», г. Москва, Россия

⁴ ООО «Сибирская компания разведки недр», г. Красноярск, Россия