

УДК 552.33:553.025:553(571.56)

DOI: 10.24930/2500-302X-2026-26-3-521-539

Новые перспективы рудоносности Уджинской провинции ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) по результатам геолого-геофизических и минералогических исследований

А. В. Толстов, А. В. Округин

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, г. Якутск, пр-т Ленина, 39, e-mail: tols61@mail.ru

Поступила в редакцию 05.11.2025 г., принята к печати 04.05.2026 г.

Объект исследований. Приведены новые геолого-геофизические и минералогические сведения о перспективах выявления в пределах Уджинской провинции (северо-запад Якутии) погребенных массивов ультраосновных щелочных пород (УЩК) и карбонатитов. **Материалы и методы.** Используются современные методы интерпретации геолого-геофизических данных и новые результаты минералогических исследований, позволяющие обосновать прогноз выявления новых объектов УЩК. **Результаты.** По характеру геофизических аномалий определены размеры прогнозируемых массивов Буолкалах-1, -2 и Чюэмпе, сопоставимые с размерами массивов Томтор и Богдо, размеры массива Уэле существенно превышают их. Согласно прогнозу, массивы Буолкалах-1, -2 и Чюэмпе перспективны на Nb и REE, масштабы их оруденения могут быть сопоставимы с потенциалом Томтора. Массив Уэле, помимо Nb-REE, подобно Гулинскому в Маймеча-Котуйской провинции УЩК, перспективен на золото и металлы платиновой группы (МПГ). Прогноз обосновывается наличием в аллювиальных отложениях Анабаро-Оленекского междуречья обширных ореолов золота и МПГ с отличительными индикаторными особенностями. Состав силикатных включений в зернах МПГ по микрозондовым анализам и объемному соотношению соответствует мельтейгиту массива Томтор, что указывает на их связь с массивами УЩК. **Выводы.** Геофизические данные и минералого-геохимические особенности МПГ из аллювия водотоков Анабаро-Оленекского междуречья позволяют прогнозировать на северо-западе Якутии новые массивы УЩК, перспективные на Nb-REE и благороднометалльное оруденение.

Ключевые слова: ниобий, редкие земли, золото, платиноиды, массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, УЩК, прогноз, северо-восток Сибирской платформы

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного бюджетного финансирования Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (Мантйный магматизм, эволюция литосферы и рудоносность восточной части Сибирской платформы, геоэкология недропользования № FUF-2024-0007)

New prospects for ore potential in the Udzha province of ultramafic alkaline rocks and carbonatites (UAC) based on geological, geophysical, and mineralogical studies

Aleksandr V. Tolstov, Aleksandr V. Okrugin

Institute of Diamond and Precious Metals Geology, SB RAS, 39 Lenin av., Yakutsk 677000, Russia, e-mail: tols61@mail.ru

Received 05.11.2025, accepted 04.05.2026

Research subject. The study presents new geological, geophysical, and mineralogical data on the prospects for identifying massifs of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites within the Udzha Province (northwestern Yakutia). **Materials and methods.** Modern approaches to the interpretation of geological and geophysical datasets, combined with new mineralogical results, were applied to substantiate the prediction of new ultramafic alkaline-carbonatite (UAC) complexes. **Results.** Analysis of geophysical anomalies allowed the dimensions of the predicted Buolkalakh-1, Buolkalakh-2, and Chyuempe massifs to be constrained. These are comparable in size to the Tomtor and Bogdo massifs, whereas the Uele

Для цитирования: Толстов А.В., Округин А.В. (2026) Новые перспективы рудоносности Уджинской провинции ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) по результатам геолого-геофизических и минералогических исследований. *Литосфера*, 26(3), 521–539. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-3-521-539>. EDN: AVZTGL

For citation: Tolstov A.V., Okrugin A.V. (2026) New prospects for ore potential in the Udzha province of ultramafic alkaline rocks and carbonatites (UAC) based on geological, geophysical, and mineralogical studies. *Lithosphere (Russia)*, 26(3), 521–539. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-3-521-539>. EDN: AVZTGL

massif significantly exceeds them in extent. The Buolkalakh-1, Buolkalakh-2, and Chyuempe massifs are promising in terms of Nb and REE mineralization, with their ore potential potentially comparable to that of the Tomtor deposit. In addition to Nb–REE mineralization, the Uele massif, similar to the Guli massif in the Maymecha-Kotuy province of the UAC, is also prospective for gold and platinum group metals (PGM). The forecast is supported by the presence of extensive gold and PGM halos with distinctive indicator characteristics in the alluvial deposits of the Anabara–Olenyok interfluvium. Microprobe analyses of silicate inclusions in PGE-bearing grains, as well as their volume proportions, indicate affinities with meltteigite from the Tomtor massif, suggesting a genetic relationship with UAC magmatism. *Conclusions.* Integrated geophysical data and mineralogical-geochemical characteristics of PGE-bearing minerals (MPG) from alluvial deposits of the Anabara–Olenyok interfluvium provide a basis for predicting previously unrecognized UAC massifs in northwestern Yakutia that are prospective for Nb–REE and noble metal mineralization.

Keywords: niobium, rare earths, gold, platinumoids, ultra-basic alkaline rocks and carbonatites, UBAC, forecast, North-East of the Siberian Platform

Funding information

The work was carried out within the framework of State budget funding of the Institute of Diamond and Precious Metals Geology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Mantle magmatism, evolution of the lithosphere and ore content of the eastern part of the Siberian platform, geoecology of subsoil use No. FUG-2024-0007)

ВВЕДЕНИЕ

Уджинская провинция ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) выявлена в конце 50-х–начале 60-х гг. прошлого века. К настоящему времени здесь обнаружены и разведаны крупнейшие запасы и ресурсы Nb и REE, приуроченные к корам выветривания карбонатитов. По данным предшественников, она представлена двумя крупными щелочными массивами Томтор и Богдо, отчетливо выделяемыми на картах магнитной съемки и частично выходящими на поверхность (Эрлих, 1964). Массивы УЩК приурочены к сводовой части Уджинского поднятия, расположенного на восточном склоне Анабарского поднятия и хорошо изучены как источник редких элементов. Первые данные о возможном наличии в пределах провинции новых массивов УЩК, прогнозируемых по геофизическим данным, появились давно (Поршнева, Степанов, 1981), но до недавнего времени не было четкого обоснования их выявления. Кроме того, более полувека на северо-востоке Анабарской антеклизы стоит вопрос коренного источника широко распространенных ореолов Au

и Pt (Шпунт, 1970, 1974; Округин, 2000; Округин и др., 2005, 2009; Герасимов и др., 2014; и др.), что обусловило появление гипотезы о связи благороднометалльной минерализации с массивами УЩК (Толстов, 2006; Округин и др., 2012). Общая геологическая схема расположения Уджинской провинции и развития основных типов магматитов на севере Сибирской платформы с распространением золото- и платиноносных проявлений показана на рис. 1.

Цель настоящей работы – обоснование прогноза новых рудоносных массивов УЩК в северном обрамлении Уджинской провинции на основе интеграции геолого-структурных, геофизических и минералого-геохимических данных. Достижению цели способствовало решение следующих задач: 1 – рассмотрение геологической ситуации, благоприятной для становления массивов УЩК; 2 – анализ характера и особенностей аномальных геофизических полей, обусловленных наличием рудоносных объектов; 3 – выявление ореолов распространения в россыпях Au–Pt минералов с индикаторными признаками парагенетической связи с щелочно-ультраосновными породами.

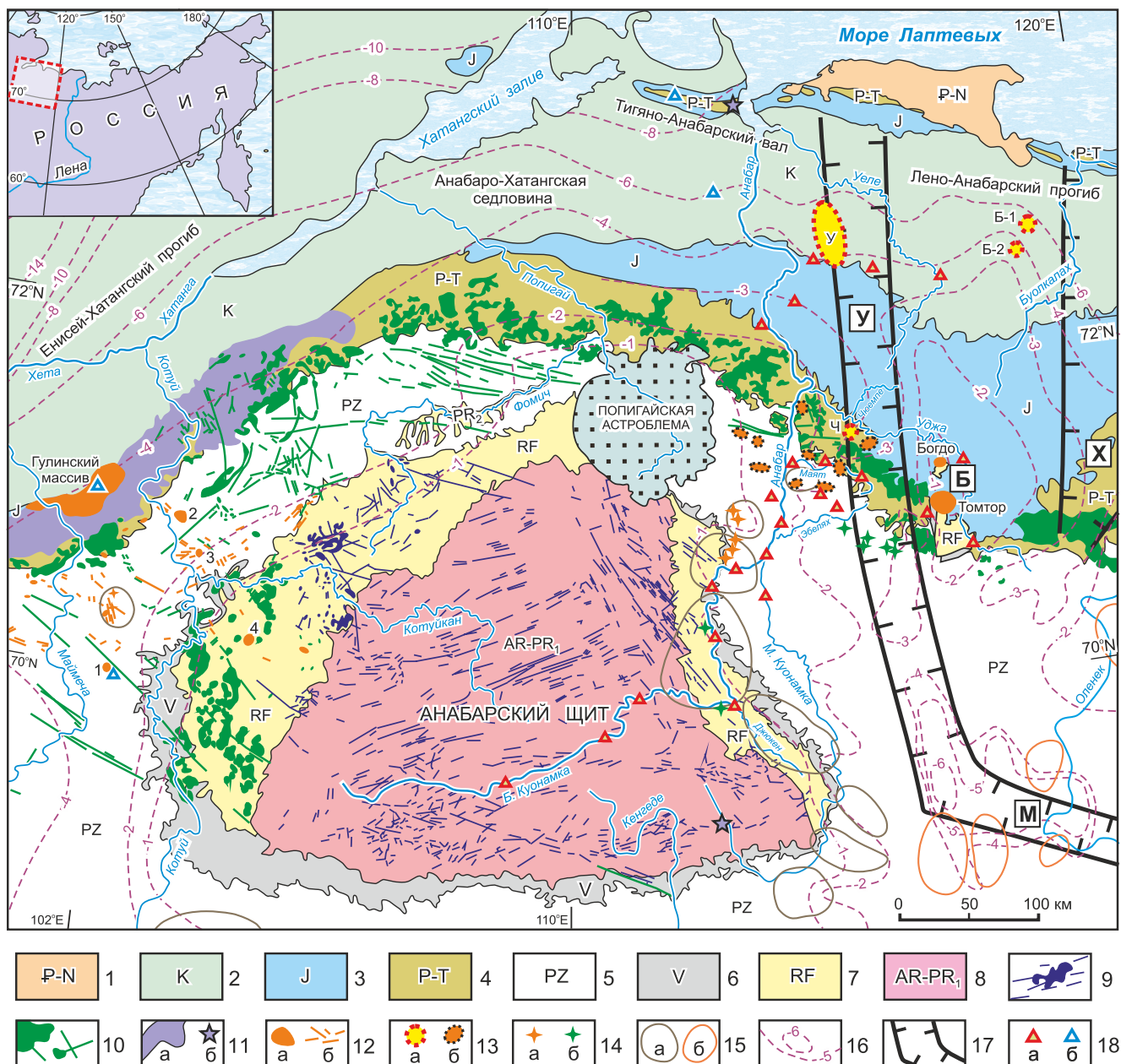


Рис. 1. Схема распространения магматитов и золотоплатиноносных россыпей проявления на северо-востоке Сибирской платформы на основе геолкарты Сибирской платформы масштаба 1:1 500 000 (Геологическая..., 1999) с дополнениями (Округин и др., 2009, 2012; Округин, Толстов, 2017; Okrugin et al., 2020).

1 – палеоген-неогеновые отложения, P-N; 2 – меловые пески, алевроиты и галечники, K; 3 – юрские конгломераты, песчаники, алевролиты, J; 4 – пермские и триасовые песчаники, алевролиты, P-T; 5 – палеозойские доломиты, известняки, мергели и песчаники, PZ; 6 – доломиты, песчаники, аргиллиты, конгломераты, известняки венда, V; 7 – рифейские конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты и доломиты, RF; 8 – архей-нижнепротерозойские метаморфические комплексы, AR-PR₁; 9 – позднедокембрийские базиты на Анабарском щите; 10 – силлы и дайки P-T долеритов и трахидолеритов; 11 – эффузивы базальтов и щелочных базальтоидов (а) и пикритобазальты (б); 12 – интрузивы центрального типа (а) и дайки (б) щелочных и ультраосновных пород с карбонатами: (Гулинский массив: 1 – Бор-Урях, 2 – Оди-хинча, 3 – Кугда, 4 – Маган, массивы Томтор и Богдо); 13 – предполагаемые по геофизическим данным массивы (а), залегающие на глубине 200–300 м (Ч – Чюэмпэ, Б-1, -2 – Буолкалах-1 и -2 (Поршнев, Степанов, 1981), У – Уэле (Толстов, 2025)) и гравитационные аномалии (б), увязанные в пределах границы фундамента на глубинах до 1–3 км (Округин и др., 2009); 14 – карбонатитовые (а) и базитовые (б) трубки взрыва; 15 – границы кимберлитовых полей мезозойского (а) и палеозойского (б) возраста (Афанасьев и др., 2011); 16 – стратозиогипсы (в км) по поверхности кристаллического фундамента (Протопопов, 1993); 17 – границы палеорифтовых систем (У – Удзинская, М – Сухано-Моторчунская, Х – Ха-стахская) и Билиро-Удзинского поднятия (Б); 18 – россыпи золота с сопутствующими платиновыми минералами Fe-Pt (а) и Ir-Os (б) составов. Остальные пояснения даны в тексте.

Fig. 1. Distribution of magmatites and gold-platinum placers in the northeast of the Siberian Platform, based on the 1:1 500 000 geological map of the Siberian Platform (Geological..., 1999) with additions (Okrugin et al., 2009, 2012; Okrugin, Tolstov, 2017; Okrugin et al., 2020).

1 – Paleogene-Neogene sediments, P–N; 2 – Cretaceous sands, siltstones and pebbles, K; 3 – Jurassic conglomerates, sandstones, siltstones, J; 4 – Permian and Triassic sandstones, siltstones, P–T; 5 – Paleozoic dolomites, limestones, marls and sandstones, PZ; 6 – dolomites, sandstones, mudstones, conglomerates, limestones, Vendian, V; 7 – Riphean conglomerates, sandstones, siltstones, mudstones and dolomites, RF; 8 – Archaean-Lower Proterozoic metamorphic complexes, AR-PR1; 9 – Late Precambrian basites on the Anabar shield; 10 – sills and dikes of the dolerite and trachydolerite ranges; 11 – effusions of basalts and alkaline basaltoids (a) and picritobasalts (б); 12 – intrusions of the central type (a) and dikes (б) of alkaline and ultrabasic rocks with carbonatites: (Gulinsky massif, 1 – Bor-Uryakh, 2 – Odikhinch, 3 – Kugda, 4 – Magan, Tomtor and Bogdo massifs); 13 – massifs (a) inferred from geophysical data and located at a depth of 200–300 m (Ch – Chyuempe, B-1, -2 – Buolkalakh-1 and -2 (Porshnev, Stepanov, 1981), U – Uele (Tolstov, 2025)) and gravitational anomalies (б) linked within the basement boundary at depths up to 1–3 km (Okrugin et al., 2009); 14 – carbonatite (a) and basite (б) explosion tubes; 15 – boundaries of Mesozoic (a) and Paleozoic kimberlite fields (б) age according to (Afanasyev et al., 2011); 16 – stratoisohypses (in km) on the surface of the crystalline basement (Protopopov, 1993); 17 – boundaries of paleorift systems (U – Ujinskaya, M – Sukhano-Motorchunskaya, X – Hastakhs-kaya) and Bilir-Ujinsky uplift (Б); 18 – placers of gold with accompanying platinum minerals of Fe-Pt (a) and Ir-Os (б) compositions. The rest of the explanations are given in the text.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ УДЖИНСКОЙ ПРОВИНЦИИ УЩК

Обнаружение Уджинской провинции УЩК обусловило интерес к этой территории, в результате чего в 1970–1980-е гг. силами НИИГА и “Севморгео” (Ленинград) в ее пределах выполнены поисковые работы, сопровождаемые геофизическими исследованиями и колонковым бурением. В ходе этих исследований были получены первые сведения о геологическом строении и условиях формирования минералов, пород и руд, слагающих массив Томтор (Аплонов, Эрлих, 1980), включая первые данные о коренных карбонатитах массива (Поршневу, Степанову, 1980, 1981; Егоров и др., 1985) и рудной зоне Чимара (Кузнецова и др., 1980). По результатам последующих поисково-оценочных работ, выполненных в центральной части массива Томтор, установлены истинные масштабы оруденения в апатит-магнетитовых рудах (фоскоритах), коренных карбонатитах, их корях выветривания и продуктах переотложения (Кравченко и др., 1990; Энтин и др., 1990; Лапин, Толстов, 1991; Кравченко и др., 1992; Толстов, 1994). В ходе этих работ выявлены эпигенетически измененные Nb-REE руды, содержащие концентрации Nb₂O₅ на уровне 5–10% и оксидов REE – 15–39%. Эти руды в кровле гипергенного комплекса, образующие Северный, Буранный и Южный участки были оценены (Лапин, Толстов, 1995), а в пределах Буранного участка разведаны и переданы в отработку, которая намечается на ближайшее время.

Таким образом, наиболее изученным объектом провинции является массив Томтор (рис. 2), с которым связано уникальное Nb-REE оруденение в фоскоритах, коренных карбонатитах, корях выветривания, продуктах их переотложения и эпигенеза (Толстов, Гунин, 2001; Толстов, 2006; Лапин, Толстов, 2011). Поскольку основные рудные зале-

жи связаны с гипергенным комплексом, преимущественно они и являлись объектом разведки и изучения предшественников (Толстов, 2006). Однако исследования последних лет показали, что массив Томтор представляет интерес еще и как объект на комплексное (Fe, Ti, V, Mn) рудное сырье (Слепцов и др., 2016; Похиленко и др., 2023). Последние результаты, полученные в этом направлении, свидетельствуют о наличии в корях выветривания карбонатитов колоссальных ресурсов Mn, Ti, V, что подтверждается нашими исследованиями последних лет (Толстов и др., 2014; Толстов, Самсонов, 2014; Толстов, Лапин, 2024а–в; Лапин и др., 2024).

По результатам геохронологических (U-Pb и ⁴⁰Ar/³⁹Ar) исследований изучены возрастные рубежи формирования массива Томтор, в результате чего построена модель зарождения и кристаллизации УЩК магм Сибирского региона, изучена их рудоносность, установлены мантийные источники и их связь с плюмовым процессом (Энтин и др., 1990; Кравченко, Расс, 2010; Владыкин и др., 2014; Владыкин, 2016). Изучение лампрофиров позволило установить, что они сформированы при смешении K и Na щелочно-базитовых магм, обусловив уникальную рудоносность (Nb и REE) этого плутона (Панина и др., 2016). За последнее десятилетие получены новые данные по апатит-магнетитовым рудам (фоскоритам), их положению в истории формирования массива Томтор и вкладу в его рудоносность (Баранов и др., 2018). Наиболее глубоко проработаны вопросы генезиса главных рудообразующих минералов, включая окислительно-восстановительные процессы, объяснявшие становление формации кор выветривания карбонатитов и продуктов их эпигенеза (Лазарева и др., 2015; Лапин и др., 2024). Детально рассмотрена геохимия Mn в карбонатитах и корях выветривания, установлена приуроченность высоких концентраций Fe и Mn к коренным анкеритовым карбонатитам и их зоне гипергенеза, что обусловило новые

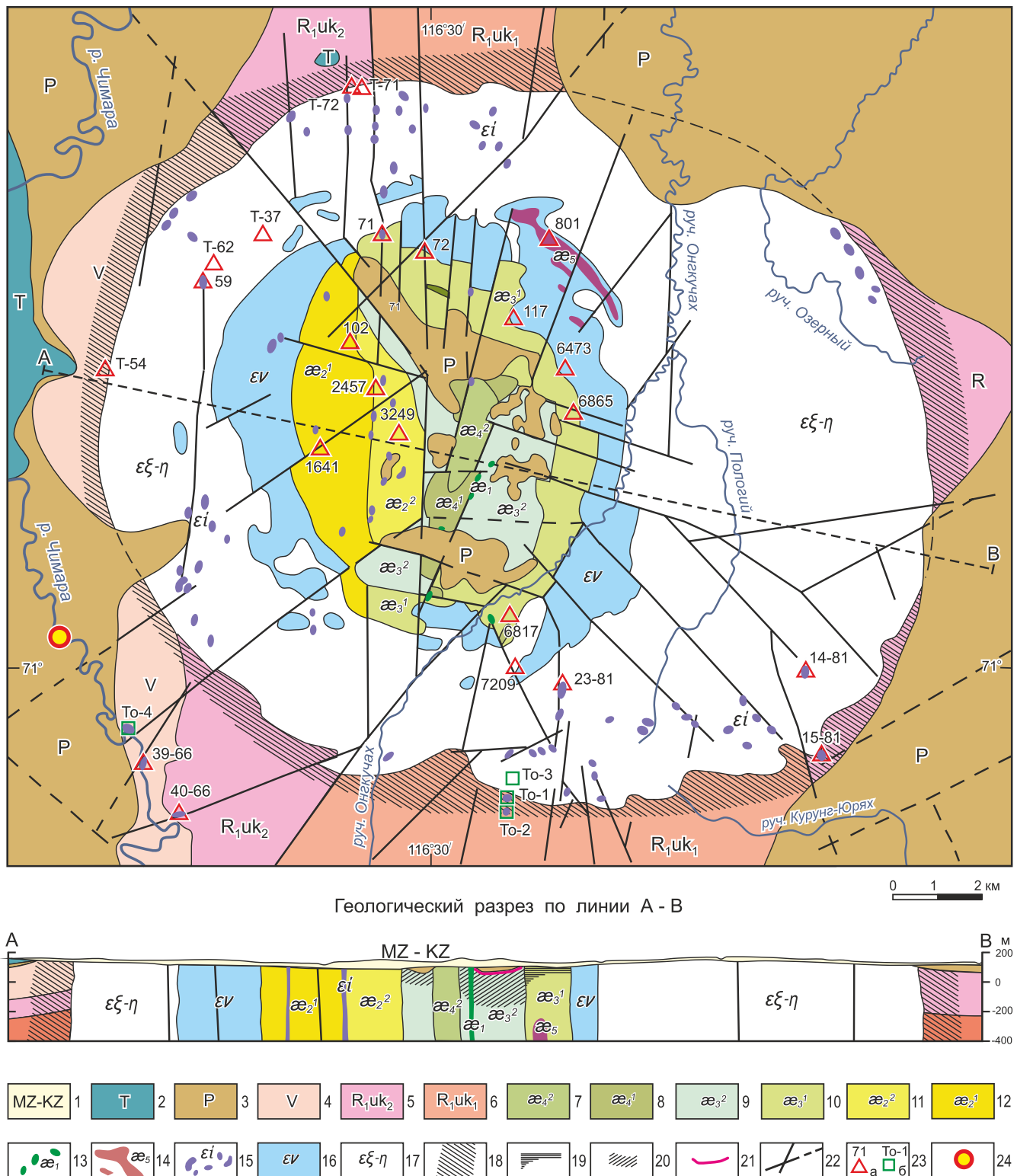


Рис. 2. Геологическая схема и разрез массива Томтор (Толстов, 1994; Округин и др., 2019).

1 – МЗ-КЗ отложения (на разрезе); 2 – траппы; 3 – пермские отложения; 4 – V венд; 5, 6 – рифей; 7 – карбонатиты анкеритовые; 8 – анкерит-шамозитовые породы; 9 – фосфорно-редкометалльные карбонатиты; 10 – апатит-микроклин-слюдистые породы; 11 – карбонатиты безрудные; 12 – кальцит-микроклин-слюдистые породы; 13 – карбонатитовые брекчии; 14 – фосфориты; 15 – мелкие секущие тела щелочно-ультраосновных пород; 16 – фойдолиты; 17 – щелочные и нефелиновые сиениты; 18 – зоны мраморизации; 19, 20 – кора выветривания; 21 – каолинит-крандаллитовый горизонт; 22 – тектонические нарушения; 23 – места отбора образцов: из керна скважин (а) и обнажений (б); 24 – место отбора пробы с Au и МПП.

Fig. 2. Schematic geological map and section of the Tomtor massif, according to (Tolstov, 1994; Okrugin et al., 2019).

1 – MZ-KZ deposits (in section); 2 – traps; 3 – Permian deposits; 4 – Vendian; 5, 6 – Riphean; 7 – ankerite carbonatites; 8 – ankerite-chamosite rocks; 9 – phosphorous-rare metal carbonatites; 10 – apatite-microcline-micaceous rocks; 11 – oreless carbonatites; 12 – calcite-microcline-micaceous rocks; 13 – carbonatite breccias; 14 – foscrites; 15 – small secant bodies of alkaline-ultramafic rocks; 16 – foidolites; 17 – alkaline and nepheline syenites; 18 – zones of marbling; 19, 20 – weathering crust; 21 – kaolinite-crandallite horizon; 22 – tectonic disturbances; 23 – sampling sites: from the core of wells (a) and outcrops (б); 24 – sampling site with Au and MPG.

перспективы объекта на Fe, Mn, Ti и V (Толстов, Лапин, 2024а, б; Лапин и др., 2024). Кроме того, авторами получены результаты, указывающие на возможную связь Au и МПГ из россыпей бассейна р. Анабар с массивами УЩК (Округин и др., 2012, 2014; Okrugin, Gerasimov, 2023). В последние годы они подкреплены выявлением Au в породах массивов Томтор и Богдо (Баранов и др., 2018; Жмодик и др., 2024), что усиливает перспективы прогнозируемых массивов УЩК Уджинской провинции не только на REE, но и на Au и МПГ и тем самым подтверждает наш прогноз (Толстов, 2025).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для прогнозирования погребенных интрузий УЩК на уровне кристаллического фундамента в геофизических полях использовались архивные материалы грави- и магниторазведки, которые благодаря современным методам геологической интерпретации, использующим сверточные нейронные сети (CNN), способны распознавать кольцевые структуры, обусловленные массивами УЩК центрального типа. Мультимодальные нейронные сети могут объединять данные из разных источников (гравиметрия, магниторазведка, сейсмика, геохимия) в единое пространство признаков, что позволяет учитывать комплексное геофизическое поведение выделяемых объектов и повышать точность их локализации. Современные методы ГИС-технологий на основе многомерной фильтрации и трансформации геофизических полей дают возможность решать ряд задач за счет выделения релевантных признаков, минимизации влияния шумов и искажений, классификации, оптимизации и сегментации данных. Для восполнения пропусков в архивных данных использованы методы генеративно-состязательных сетей (GAN) и вариационных автоэнкодеров (VAE), что позволило выделить комплексные контрастные аномалии, соответствующие глубинным объектам, обусловившие локальные объекты, аппроксимируемые на современном уровне с интрузиями УЩК.

При изучении золота и МПГ из россыпей Лено-Анабарского междуречья помимо традиционных минералогических исследований применялись лабораторные методы: рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), а также стандартные

способы статистической обработки информации. Состав минералов определялся на микрозондовом анализаторе Camebax-Micro, а их микроструктурные взаимоотношения изучались на сканирующем микроскопе JSM-6480LV JEOL в ИГАБМ СО РАН; аналитики: Н.В. Лескова, С.К. Попова, Л.М. Попова, Н.В. Христофорова. Съёмки проводились при следующих условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ; ток зонда 1.09 нА; время измерения 7 с; аналитические линии: Au – Ma, Ag – La, другие элементы – Ka. В качестве эталонов использовались стандартизированные минералы, чистые металлы и их сплавы. Рентгенографические исследования по определению структуры и параметров элементарных решеток минералов проводились на установке УРС-0.3 в ИГАБМ СО РАН (аналитики: Н.В. Заякина, Т.И. Васильева), а также на дифрактометре D8 Discover в ИГДС СО РАН – Л.Н. Гореховой.

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ И ЗОЛОТА В РОССЫПЯХ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ

На северо-востоке Сибирской платформы и в пределах Вилюйской синеклизы широко распространены площадные *Au-Pt* россыпи с мелким металлом, которые не имеют видимых связей с какими-либо потенциальными коренными источниками (Трушков и др., 1975). Однако на некоторых участках отмечаются россыпепроявления с крупной фракцией металлов, что позволяет говорить о близком расположении предполагаемых источников. Так, Б.Р. Шпунт (1974) в Лено-Анабарском прогибе, кроме площадных россыпей мелкого (до 0.25 мм, редко 1.00 мм) золота, выделяет “анабарский” тип россыпей по р. Бол. Куонамка, в которых Au представлено крупными (4 мм) дендрито-, комковидными зернами, октаэдрическими кристаллами. Предшественниками данный тип золота связывался со среднепротерозойскими постмагматическими жильными телами и сульфидизированными диафоритами в зонах дробления AR пород на Анабарском массиве (Шпунт, 1974).

В отличие от тонкого “плавучего” металла косовых россыпепроявлений крупные зерна золота и МПГ в россыпях малотранспортабельны и являются маркерами близости их коренных источников.

Гидравлическая крупность тонкочешуйчатых зерен (с толщиной менее 0.1 мм) платины, измеренная путем определения скорости падения зерен в воде в стеклянной трубке, колеблется от 5 до 9 см/с, а у крупных таблитчатых и уплощенных зерен платины с толщиной до 0.5–0.8 мм гидравлическая крупность возрастает до 30–50 см/с и более. Последние значения соответствуют таковым для частиц приплотиковых скоплений благородных металлов из россыпей ближнего сноса (Округин, 2000).

С 1997 г. при разработке силами ГПП “Нижне-Ленское” и ОАО “Алмазы Анабара” алмазоносных россыпей рек Молодо, Анабар обнаружены крупное золото (5–8 мм) и платина (до 3 мм) комковидной и суббрудной форм (рис. 3) (Округин, 2000; Герасимов, Никифорова, 2005; Округин и др., 2009, 2012). Подобная ассоциация более мелких (до 1 мм) зерен благородных металлов установлена в шлиховых пробах из аллювия рек Уджа и Чимара вблизи массивов Томтор и Богдо (см. рис. 1, 2).

МПП в россыпях бассейна р. Анабар в основном представлены железистой платиной и реже (5–10%) *Ru-Ir-Os* сплавами. Железистая платина часто характеризуется высокими содержаниями Rh, Ru, Ir, Os и Pd, заполняя широкую область диаграммы (Pt + Fe)–(Ir + Os)–(Ru + Rh) (рис. 4). По морфологическим и типохимическим особенностям МПП из россыпей бассейна р. Анабар во многом сходны с минералами россыпей “вилейского” типа, широко распространенных в бассейне Лено-Вилейского междуречья (Округин, 2000). Частично составы минералов анабарских россыпей соответствуют также МПП из россыпи Инаглинского массива (см. рис. 4). Однако в отличие от россыпей “вилейского” и “инаглинского” типов МПП из россыпей р. Анабар демонстрируют повышенное содержание самостоятельных зерен *Ru-Ir-Os* минералов, состав которых главным образом соответствует иридий-осмиевым минералам Гулинского массива.

В россыпи р. Маят (левобережье р. Анабар) в ассоциации с МПП, наряду с самородным золотом пробностью 450–980‰, встречаются мелкие (до 1 мм) золотины с повышенным содержанием палладия – порпецит (см. рис. 3ж, з) (Округин и др., 2009; Okrugin, Gerasimov, 2023). По данным микрозондового анализа содержание Pd в таком золоте варьирует от 0.77 до 12.83%, Ag – не превышает 2.75%, а примесь Cu изредка достигает 3.00%. Палладистое золото присутствует в платинометаллических россыпях Гулинского ультрамафитового массива (Malitch et al., 2002). Следовательно, на северо-востоке Сибирской платформы мы имеем предпосылки существования сложных базит-ультрабазитовых комплексов перспективных на золотоплатиноидное оруденение.

В пределах Гулинского массива известны россыпи тугоплавких платиноидов и золота. Судя по

типохимическим особенностям, редкие *Fe-Pt* сплавы из иридиево-осмиевых россыпей, связанных с Гулинским массивом (Лихачев и др., 1987; Малич, Рудашевский, 1992; Сазонов и др., 1994; Malitch, Lopotin, 1997), занимают промежуточное положение между Ru-Rh (вилейским) и Ir (инаглинским) трендами (см. рис. 4а). Минералы *Ru-Ir-Os* состава из россыпей Маят, Эбелях и Хара-Мас (см. рис. 4б) в основном попадают в поля осмия и иридия, наиболее распространенных МПП в гулинских россыпях, хотя многие анализы распространяются далее в рутениевую область. Несмотря на эти различия, можно констатировать, что между МПП россыпей Маят, Эбелях и Гулинского массива имеются некоторые конвергентные признаки. Специфические особенности МПП Гулинского массива объясняются его сложным строением и полиформационной природой происхождения различных комплексов пород, которые трактуются исследователями по-разному – от глубинной дифференциации щелочно-ультраосновного расплава до метасоматического происхождения дунитов (Жабин, 1965; Ефимов, 1966; Егоров, 1969; Расс, 1998; Малич, 1999; и др.).

В отличие от типичных ийолит-карбонатитовых массивов центрального типа уникальность Гулинского плутона состоит в том, что преобладающие в нем ультрабазиты (дуниты, верлиты и клинопироксениты) обеднены щелочами и принадлежат семейству ультраосновных пород нормального ряда, близких альпинотипным ультрабазитам дунит-гарцбургитовой формации (Malitch, Lopotin, 1997; Малич, 1999). Это также подтверждается находками в россыпях Гулинского массива поликомпонентных твердых растворов *Os-Ru-Ir-Pt-Fe* состава, представляющих реликты высокотемпературных платиноидных проторастворов, подобных описанным К. Фезером в месторождении Витватерсранд (Feather, 1976). Согласно модели частичного плавления исходного мантийного вещества дуниты, представляют собой тугоплавкий остаток, где накапливаются тугоплавкие платиноиды, а легкоплавкие ЭПП – концентрируются в породах клинопироксенит-габбрового состава. В процессе твердопластичного перемещения таких мантийных диапиров в зависимости от геодинамических обстановок происходит формирование зональных ультрабазитовых комплексов с разными породными ассоциациями и типами оруденения, в том числе платиноидов и золота (Малич, 1999).

Находки крупных зерен в изученных россыпях бассейна р. Анабар указывают на близкое нахождение на данной территории материнских пород с благороднометаллической минерализацией. В больших зернах металла также лучше сохраняются включения силикатного вещества (см. рис. 3в–е), среди которых можно найти индикаторные минералы вмещающих материнских пород. Изолиро-

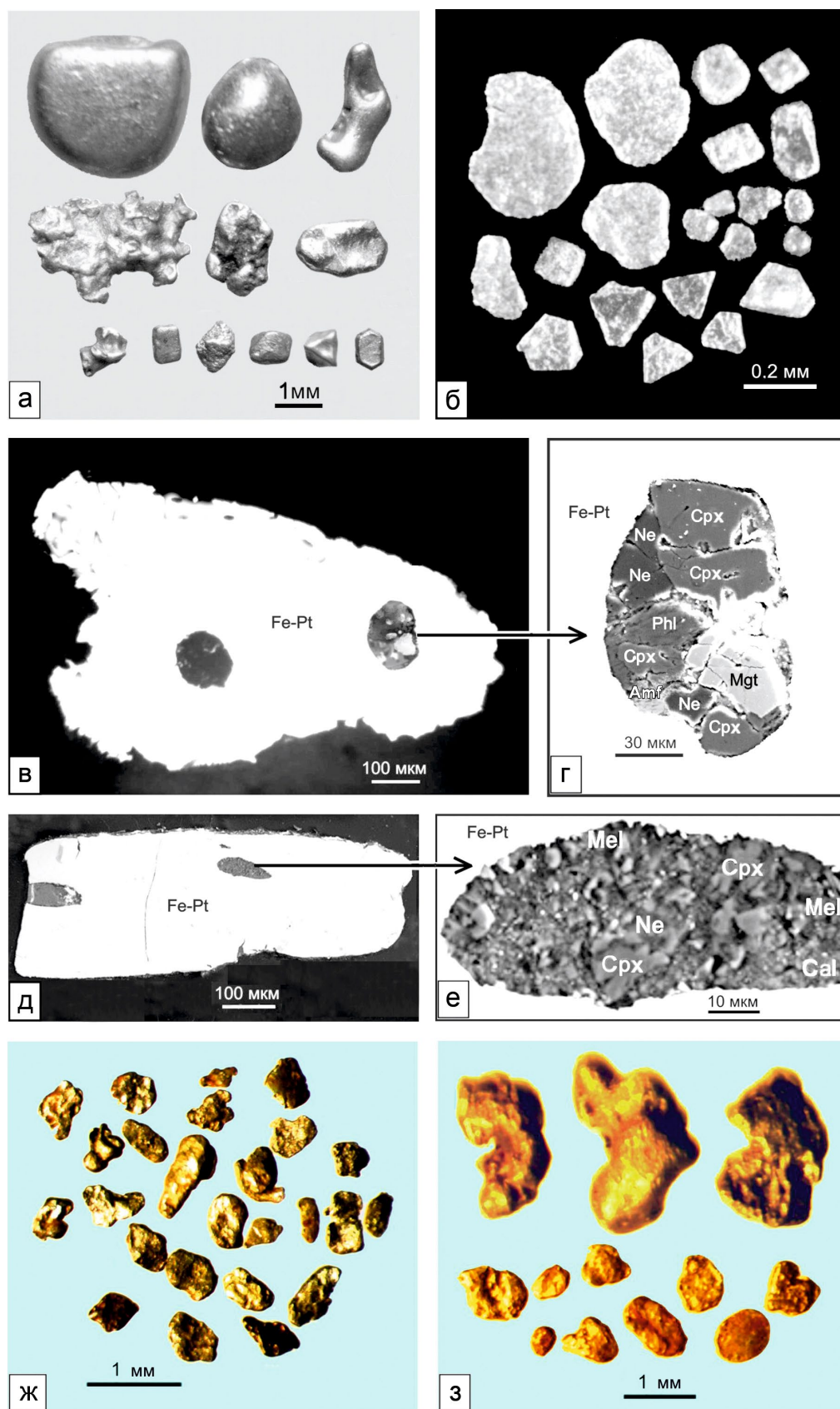


Рис. 3. Морфология зерен золота и МПГ с силикатными включениями из россыпей (Округин и др., 2012; Okrugin et al., 2020; Okrugin, Gerasimov, 2023).

а – окатанные, слабо окатанные и кристаллические зерна МПГ, р. Маят; б – хорошо окатанные чешуйчатые зерна и пластинчатые кристаллы МПГ, р. Вилую; в, г – изолированные каплевидные силикатные включения в *Fe-Pt* сплавах, р. Маят; д, е – то же, р. Бол. Куонамка; ж – хорошо окатанные чешуйчатые и уплощенные зерна палладистого золота, р. Маят; з – крупные комковидные (верхний ряд) и мелкие чешуйчатые зерна (нижний ряд) самородного золота, р. Маят. в-е – изображения включений в отраженных электронах на сканирующем микроскопе JSM-6480LV. Минералы: *Fe-Pt* – железистая платина, *Cpx* – диопсид, *Ne* – нефелин, *Phl* – флогопит, *Amf* – амфибол, *Mgt* – титаномагнетит, *Cal* – кальцит, *Mel* – меллит.

Fig. 3. Morphology of gold and MPG grains with silicate inclusions from placers according to (Okrugin et al., 2012; Okrugin et al., 2020; Okrugin, Gerasimov, 2023).

а – rounded, slightly rounded and crystalline grains of MPG, the Mayat river; б – well-rounded scaly grains and lamellar crystals of MPG, R. Vilyu; в, г – isolated teardrop-shaped silicate inclusions in *Fe-Pt* alloys, R. Mayat; д, е – also, R. Bol. Kuonamka; ж – well-rounded, scaly, and flattened grains of palladium gold, Mayat River; з – large lumpy (top row) and small scaly grains (bottom row) of native gold, Mayat River. в-е – images of inclusions in reflected electrons using a JSM-6480LV scanning microscope. Minerals: *Fe-Pt* – ferroan platinum, *Cpx* – diopside, *Ne* – nepheline, *Phl* – phlogopite, *Amf* – amphibole, *Mgt* – titanomagnetite, *Cal* – calcite, *Mel* – melilite.

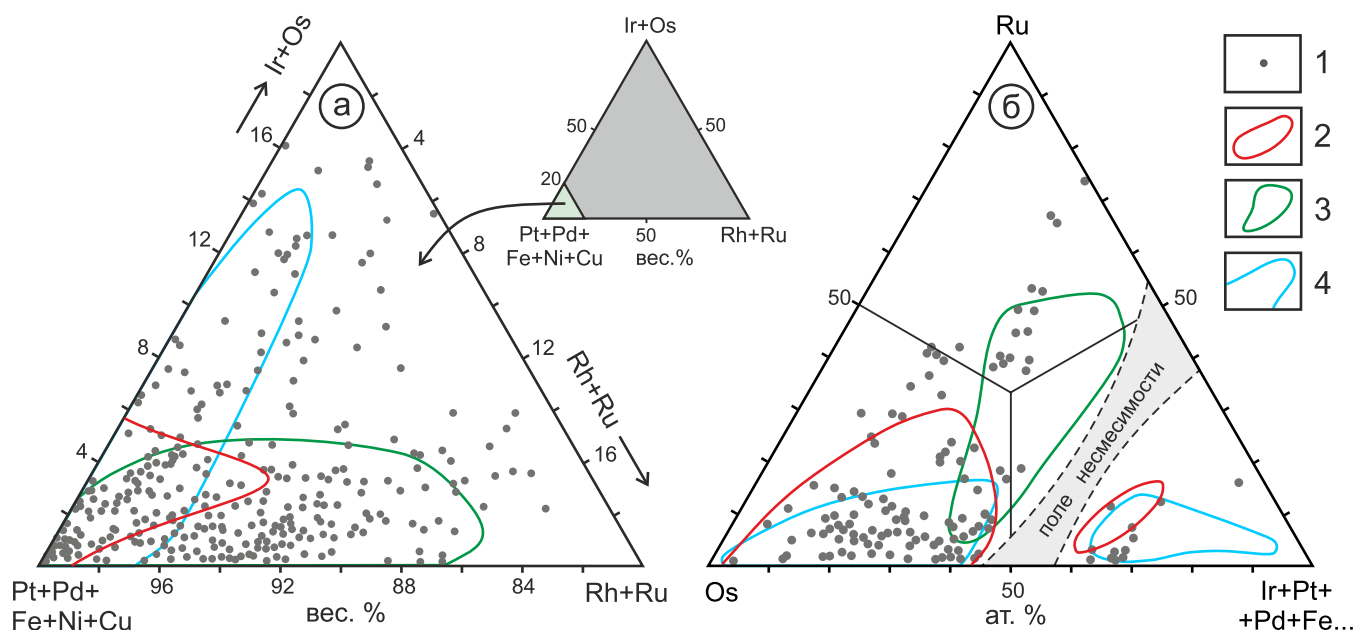


Рис. 4. Диаграммы составов железистой платины (а) и *Ru-Ir-Os* сплавов (б).

1 – россыпи рек Маят, Эбелях и Хара-Мас (Округин и др., 2012); 2–4 – поля составов минералов: 2 – из россыпей Гулинского массива (n = 156) (Лихачев и др., 1987; Малич, Рудашевский, 1992; Сазонов и др., 1994; Malitch, Lopatin, 1997; Malitch et al., 2002; Merkle et al., 2012), 3 – россыпи р. Вилую (n = 260), 4 – россыпи Инаглинского массива (n = 503) (Округин, 2000; Okrugin et al., 2020). На врезке показана область построения тройной диаграммы.

Fig. 4. Diagrams of the compositions of ferruginous platinum (a) and *Ru-Ir-Os* alloys (b).

1 – placers of the Mayat, Ebelakh, and Kharamas rivers (Okrugin et al., 2012); 2–4 – fields of mineral compositions: 2 – from placers of the Gulinsky massif (n = 156) (Likhachev et al., 1987; Malich, Rudashevsky, 1992; Sazonov et al., 1994; Malitch, Lopatin, 1997; Malitch et al., 2002; Merkle et al., 2012), 3 – placers of the Vilyu River (n = 260), 4 – placers of the Inaglinsky massif (n = 503) (Okrugin, 2000; Okrugin et al., 2020). The inset shows the area for plotting a triple chart.

ванные округлые и каплевидные формы силикатных выделений в матрице металла свидетельствуют об их первично расплавной природе и сингенетическом с платиной происхождении. В одном зерне железистой платины россыпи Маят было обнаружено включение хорошо раскристаллизованного силикатного вещества, состоящего из тесных сростаний диопсида, нефелина, флогопита, амфибола

и титаномагнетита (см. рис. 3в, г). Валовый состав этого включения, рассчитанный исходя из микрозондовых анализов минералов и их объемного соотношения, соответствует нефелит-пироксеновой породе (мельтейгиту) массива Томтор. Таким образом, возникает очевидное предположение, что золотоплатиноидные россыпи Анабаро-Уджинского междуречья связаны щелочно-ультрабазитовыми

зональными комплексами. Если в россыпях бассейна р. Анабар МПГ преимущественно представлены железистой платиной, то в россыпепроявлениях нижнего течения р. Анабар (см. рис. 1) отмечаются в основном мелкие таблитчатые зерна гексагональной формы, диагностируемые как осмиевые минералы (Округин и др., 2012). Такое различие в составе МПГ среди анабарских россыпей может указывать на присутствие на этом участке потенциальных коренных источников с осмиевой минерализацией, подобной представленной в Гулинском массиве. Это привело нас к предположению, что источниками золотоплатиноносных россыпей могут быть рудно-магматические системы, связанные с мафит-ультрамафитовыми вулканоплутоническими комплексами и их дифференциатами (Округин, Герасимов, 2025).

В подтверждение своих гипотез мы можем привести следующие дополнительные факты: оливковые мелилититы Томторского комплекса содержат повышенные количества (в мг/т) Os (21) и Ru (34) при низких содержаниях Pt, Ir, Pd и Rh (3,0; 1,5; 1,3 и 0,2 соответственно), которые соизмеримы с содержаниями Os и Ru в дунитах Гулинского массива (Лазаренков и др., 1993; Когарко и др., 1994; Малич, 1999). Возраст 261 ± 13 млн лет железистой платины из россыпи Маят, полученный ^{190}Pt - ^4He методом по 5 зернам, позволяет уверенно предположить в качестве коренного источника МПГ пермо-триасовые комплексы щелочно-ультраосновных пород. Также изотопный возраст трех зерен железистой платины из россыпи р. Биллях, соседнего притока р. Анабар, варьирует от 495 до 152 млн лет (Okrugin et al., 2020) и указывает на более продолжительное время проявления ультраосновного щелочного магматизма в Восточном Прианабарье. Это фиксируется становлением массива Томтор в период от рифея до среднего палеозоя (Владыкин и др., 2014; Округин, Толстов, 2017; и др.) и наличием проявлений мезозойского мафит-ультрамафитового магматизма (Округин и др., 2012).

Анализ геологической ситуации распределения платиноносных россыпей востока Сибирской платформы позволил нам ранее предположить (Округин, 2000), что коренными породами платины “вилюйского” типа являются платиноносные базит-ультрабазитовые массивы, связанные с протерозойско-рифейским мегакомплексом, погребенным под осадочным чехлом. Топоминералогические исследования алмазоносных россыпей бассейна р. Анабар показали, что в них иногда встречаются парагенетические ассоциации благородных металлов, состоящие из полиминеральных тесных сростаний МПГ, золота, *Au-Cu-Pd* сплавов, сульфидов, арсенидов, теллуридов PGE, Au и редких металлов (Округин и др., 2009; Герасимов и др., 2014; Okrugin, Gerasimov, 2023, 2024). Нахождение боль-

шинства указанных минералов в форме округлых изолированных микровключений в матрице железистой платины и палладистого золота свидетельствует об их образовании в результате кристаллизации многокомпонентной малосульфидно-металлической жидкости, отделившейся от вмещающего мафит-ультрамафитового магматического расплава (Округин, Герасимов, 2025). Показано также, что формирование комплексного оруденения благородных металлов в магматических породах может происходить на всем протяжении эволюции рудно-магматических систем, от раннемагматической стадии сегрегации рудных ликватов до постмагматического отделения рудоносных флюидов. После консолидации интрузива часть наиболее подвижных рудных элементов в составе водно-солевых растворов может покинуть материнские породы и формировать близконтактные скарновые, метасоматические залежи или удаленные типы жильных гидротермальных руд. Это позволяет нам считать, что источниками комплексной благородноруднометаллической минерализации на северо-востоке Сибирской платформы в основном являются разновозрастные флюидно-магматические рудные системы, связанные с фанерозойскими платформенными дифференцированными мафит-ультрамафитовыми интрузивами.

ПЕРСПЕКТИВЫ УДЖИНСКОЙ ПРОВИНЦИИ НА ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ РУДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ УЩК

Учитывая единичные минералогические находки Au и МПГ, установленные в коренных породах массивов Томтор и Богдо (Жмодик и др., 2024; Vaganov, Tolstov, 2026), авторы отмечают, что в пределах Уджинской провинции по геофизическим данным прогнозируется наличие погребенных под палеозойско-мезозойским чехлом аналогичных массивов УЩК (Поршнева, Степанов, 1981; Округин и др., 2009; Толстов, 2025).

По современным геофизическим данным в пределах Анабарского алмазоносного района выявлено значительное количество локальных гравиманитных аномалий, увязанных с наличием в чехле и в пределах фундамента интрузивных массивов основных, щелочно-ультраосновных пород (Васильев, Золотухин, 1975; Округин и др., 2009). В районе работ аэромагнитной высокоточной съемкой (АМС-10) выявлено 10 предполагаемых скрытых интрузий (см. рис. 1), которые расположены между метаморфическим комплексом Анабарского щита и рифейскими породами Уджинского горста. Можно предположить, что западная (районы развития кимберлитовых и карбонатитовых полей) и восточная (Уджинское поднятие) части данной территории контролируются долгоживущими зонами разрыва меридионального заложения, кото-

рые фиксируются и в современных элементах неотектоники. По существующим структурным планам рифейского яруса (Тектоника..., 2001), западный фланг района являлся областью размыва или отложения были эродированы, т. е. восточная территория являлась рифтограбеном, выполненным многокилометровой толщей рифейских отложений. Таким образом, в более поздние этапы под действием левосторонних сдвиговых дислокаций были последовательно сформированы Уджинский горст и Уджинский авлакоген (Манакон, Горев, 1993), западная граница последнего расположена в районе верхнего течения р. Маят. Формирование Уджинского горст-авлакогена как инверсной формы геодинамической модели предполагает проявление базит-гипербазитового интрузивно-магматизма – возможных источников платино-металльной минерализации.

Такой структурно-тектонический анализ района позволяет нам предположить, что докембрийские россыпи МПГ в фанерозое были выведены на поверхность сначала в районе Анабарского щита, а позднее – в пределах Уджинского горста и перемывались в область Уджинского авлакогена. Переотложение и аккумуляция МПГ в современные речные долины может нести следы различных изменений в степени окатанности, крупности частиц и других свойств минералов. Например, крупные размеры платины в россыпях р. Маят должны иметь признак автохтонности – близость материнских пород и промежуточных коллекторов, через которые поступал металл. Поисковую значимость на выявление коренных источников МПГ в данном районе могут иметь Анабарский щит и Уджинское поднятие, их экзоконтакт, где эродирован комплекс отложений рифея и венда, или он находится в приповерхностных условиях (Округин и др., 2009).

Несмотря на установленный внушительный минерогенический потенциал, перспективы Уджинской провинции отнюдь не ограничиваются массивами Томтор и Богдо. Более 40 лет назад в пределах Уджинского палеорифта предшественники прогнозировали выделение нескольких новых аналогичных объектов по результатам геофизических съемок (Поршнева, Степанов, 1981). Однако их прогноз не был подкреплён конкретными результатами и не получил дальнейшего развития. При более детальной современной интерпретации карты аномальных геофизических полей после фильтрации и трансформации к северо-западу и северо-востоку от массивов Томтор и Богдо на продолжении структуры Уджинского палеорифта отчетливо выделяются аномалии, обусловленные, по нашему мнению, аналогичными массивами УЩК. Эти комплексные гравимагнитные аномалии, расположенные в бассейне р. Уэле (на северо-западе), в районе р. Буолкалах (рис. 5), до настоящего вре-

мени не заверены бурением и, соответственно, не изучены.

В непосредственной близости к западу от массива Богдо (около 60 км) расположена аномалия, вызванная, по всей видимости, аналогичным массивом Чюэмпэ с соответствующей ему минерацией. В бассейне р. Буолкалах в 150–200 км к северо-востоку от массива Богдо в геофизических полях отчетливо выделяются еще две аномалии, вызванные, очевидно, прогнозируемыми массивами УЩК. По характеру аномалий и размерам эти объекты аналогичны массивам Томтор и Богдо, по отношению к которым они расположены зеркально, соответственно этому прогнозируемая нами их рудоносность может оказаться на уровне таковой Томторского месторождения. Несмотря на высокую мощность перекрывающих отложений (200–300 м) и учитывая возможную уникальную рудоносность прогнозируемых массивов, это не может служить препятствием для их выявления, изучения и оценки.

Отчетливо проявленный в виде контрастной аномалии гравимагнитного поля, отдельно расположенный на левобережье р. Уэле (северо-западная оконечность Уджинской провинции), одноименный прогнозируемый массив УЩК по размерам существенно превышает размеры массива Томтор. С поверхности он перекрыт осадочным комплексом мезокайнозойских отложений мощностью 200–300 м. По результатам комплексной интерпретации геофизических полей (по интенсивности и характеру аномалии) прогнозируемый массив Уэле более всего сходен с Гулинским гипербазитовым массивом формации УЩК, расположенным к северо-западу от Анабарского поднятия, являющимся по размерам лидером Маймеча-Котуйской провинции (см. рис. 1). Гулинский массив, подобно прогнозируемому Уэлинскому, равноудален от Анабарского поднятия, сходен по размерам, характеризуется флогопитовой и платиноворудной минерализацией и является, по сути, коренным источником платиноносных россыпей Западного Прианабарья (Лихачев и др., 1987; Малич, Рудашевский, 1992; Сазонов и др., 1994).

Таким образом, в пределах Уджинской провинции ультраосновных щелочных пород и карбонатов, известной своим уникальным Nb-TR орудением в корях выветривания карбонатитов томторского типа, прогнозируются новые погребенные массивы УЩК – Уэле, Чюэмпэ, Буолкалах-1, -2 (рис. 6), минерации которых могут определять, помимо характерных для карбонатитов, ниобия и редких элементов, железо, фосфор, марганец, титан, ванадий (Лапин и др., 2023; Толстов, Лапин, 2024а–в), а также благородные металлы – золото и платиноиды (Округин и др., 2009; Баранов и др., 2018; Okrugin, Gerasimov, 2023; Tolstov et al., 2023; Жмодик и др., 2024).

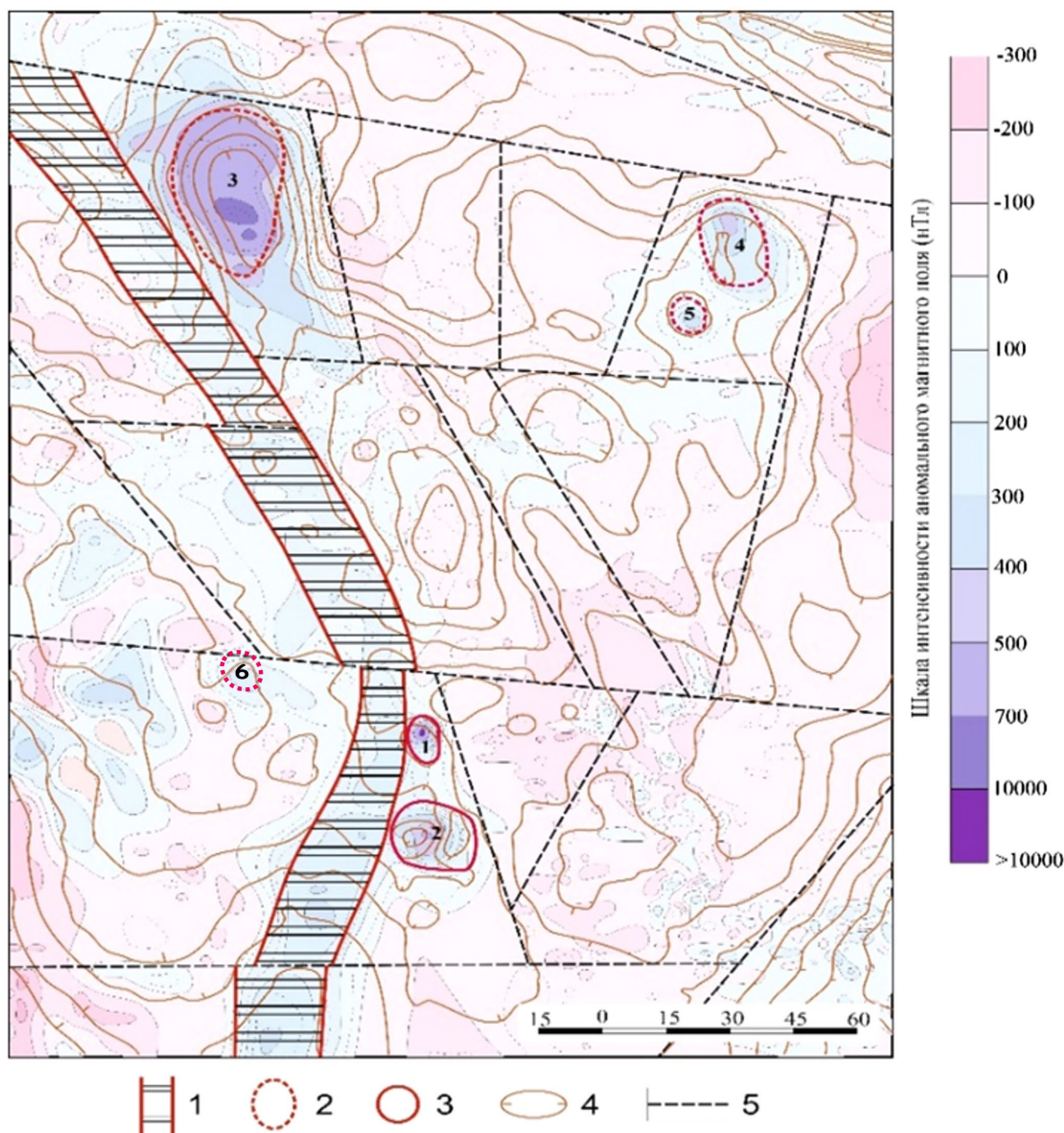


Рис. 5. Карта аномальных геофизических полей Уджинской провинции УЩК с элементами интерпретации (Толстов, 2025).

1 – Оленекская шовная зона; 2 – гравимагнитные аномалии, предположительно связанные с щелочно-ультраосновными массивами; 3 – контуры массивов УЩК; 4 – изолинии поля силы тяжести (бергштрихи направлены в сторону понижения поля с шагом 4 мГл); 5 – предполагаемые тектонические нарушения в кристаллическом фундаменте. Цифры в окружностях: 1 – Томтор, 2 – Богдо 3 – Уэле, 4 – Буолкалах-1, 5 – Буолкалах-2, 6 – Чюэмпе.

Fig. 5. Map of anomalous geophysical fields of the Ujinsk province of OSCHK with elements of interpretation (Tolstov, 2025).

1 – Olenek seam zone; 2 – gravimagnetic anomalies presumably associated with alkaline ultramafic massifs; 3 – contours of the NCHK massifs; 4 – isolines of the gravity field (the bergstrokes are directed downward with a pitch of 4 mG); 5 – suspected tectonic disturbances in the crystalline basement. Numbers in circles: 1 – Tomtor, 2 – Bogdo 3 – Uele, 4 – Buolkakh-1, 5 – Buolkakh-2, 6 – Chuempе.

В целом сложные комплексы УЩК, подобные Томтору, обязаны своим наличием в литосферной мантии внутриплитных глубинных магмогенерирующих очагов с неистощенными исходными рас-

плавами, формирующими крупные изверженные провинции с уникальной комплексной благородноредкометалльной рудоносностью (Округин и др., 2019). Судя по прогнозируемым масштабам ору-

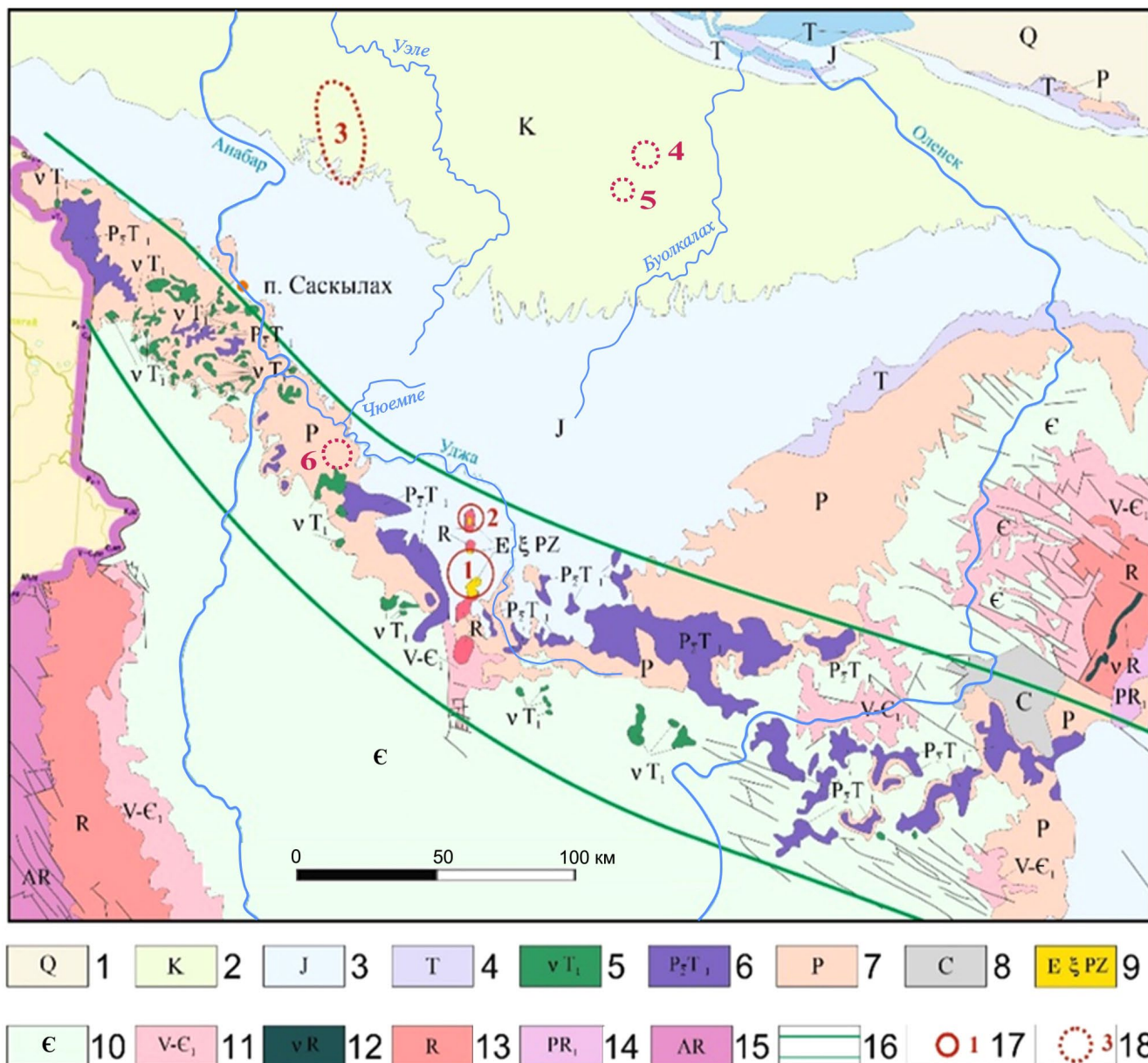


Рис. 6. Прогнозная схема северо-восточной части Сибирской платформы на ультраосновные щелочные карбонатитовые массивы (Толстов, 2025).

1 – четвертичная система; 2 – меловая система; 3 – юрская система; 4 – триасовая система; 5, 6 – нижний триас – верхняя пермь, нерасчлененные (базальты, туфы); 7 – пермская система; 8 – каменноугольная система; 9 – палеозойская группа (УЩК); 10 – кембрийская система; 11 – венд – нижний кембрий нерасчлененные; 12 – рифейские образования (базиты); 13 – рифейские осадочные отложения; 14 – протерозой; 15 – архей; 16 – Молодо-Попигайский пояс; 17, 18: массивы УЩК: 17 – установленные (1 – Томтор, 2 – Богдо), 18 – прогнозируемые по геофизическим данным (3 – в бассейне р. Уэле (Толстов, 2025), 4, 5 – в бассейне р. Буолкалах, 6 – Чюемпе (Поршневу, Степанов, 1981)).

Fig. 6. Forecast scheme of the northeastern part of the Siberian Platform for ultrabasic alkaline carbonatite massifs (Tolstov, 2025).

1 – Quaternary system; 2 – Cretaceous system; 3 – Jurassic system; 4 – Triassic system; 5, 6 – Lower Triassic – Upper Permian, undifferentiated (basalts, tuffs); 7 – Permian system; 8 – Carboniferous system; 9 – Paleozoic group; 10 – Cambrian system; 11 – Vendian-Lower Cambrian undifferentiated; 12 – Riphean formations (basites); 13 – Riphean sedimentary deposits; 14 – Proterozoic; 15 – Archaean; 16 – Young Popigai belt; 17, 18 – NCHK massifs: 17 – established (1 – Tomtor, 2 – Bogdo), 18 – predicted from geophysical data (3 – in the Ule River basin (Tolstov, 2025), 4, 5 – in the Buolka River basin, 6 – Chyume (Porshev, Stepanov, 1981)).

- Геохимия и генезис Томторского массива (север Сибирской платформы). *Докл. РАН*, **322**(5), 966-972.
- Кравченко С.М., Беляков А.Ю., Кубышев А.И., Толстов А.В. (1990) Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды – новый тип редкометалльного сырья. *Геология руд. месторождений*, **32**(1), 105-109.
- Кузнецова И.Н., Розина Е.Л., Мищенко К.С. (1980) Акцессорная редкоземельная минерализация в доломит-анкеритовых карбонатитах и коре из выветривания на Севере Сибирской платформы. *Щелочной магматизм и апатитовосность Севера Сибири*. Л.: НИИГА, 69-73.
- Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Добрецов Н.Л., Толстов А.В., Щербов Б.Л., Карманов Н.С., Герасимов Е.Ю., Брянская А.В. (2015) Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь). *Геология и геофизика*, **56**(6), 1080-1115. <https://doi.org/10.15372/GiG20150603>
- Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Лопатин Г.Г. (1993) Геохимия ультрамафитов платиноносного Гулинского массива Маймеча-Котуйской провинции. *Геохимия*, (11), 1523-1531.
- Лапин А.В., Толстов А.В. (1991) Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность. *Геология руд. месторождений*, **33**(4), 81-91.
- Лапин А.В., Толстов А.В. (1995) Месторождения кор выветривания карбонатитов. М.: Наука, 208 с.
- Лапин А.В., Толстов А.В. (2011) Минерогения кор выветривания карбонатитов. М.: ИМГРЭ; Геокарт-ГЕОС, 308 с.
- Лапин А.В., Толстов А.В., Набелкин О.А., Куликова И.М. (2024) Уникальная поликомпонентная рудная формация кор выветривания карбонатитов: новые перспективы – Fe, Mn, Ti, V. *Геология и геофизика*, **65**(8), 1080-1092.
- Лихачев А.П., Кириченко В.Т., Лопатин Г.Г., Кириченко А.А., Дерягина Г.Г., Рудашевский Н.С., Ботова М.М. (1987) К особенностям платиноносности массивов щелочно-ультраосновной формации. *Зап. ВМО*, **116**(1), 122-125.
- Малич К.Н. (1999) Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). СПб.: ВСЕГЕИ, 296 с.
- Малич К.Н., Рудашевский Н.С. (1992) О коренной минерализации платиноидов хромититов Гулинского массива. *Докл. АН*, **325**(5), 1026-1029.
- Малич К.Н., Баданина И.Ю., Булатов В.А., Войтин А.А. (2023) Необычные минеральные ассоциации платиноидов и золота Гулинского массива (Полярная Сибирь): новые данные. *Минералого-геохимические исследования для решения проблем петро- и рудогенеза, выявления новых видов минерального сырья и их рационального использования*. Мат-лы Годичного собрания РМО и Федоровской сессии. СПб.: РМО, 128-129.
- Манаков А.В., Горев Н.И. (1993) Физико-геологическое моделирование земной коры Анабаро-Оленекского междуречья в связи с размещением кимберлитов. *Объекты поисковых работ для различных стадий геологоразведочного процесса на алмазы*. Мирный, 43-46.
- Матвеев А.И., Толстов А.В., Петров И.М. (2025) Схема создания редкометалльного кластера в республике Саха (Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, **30**(1), 7-27.
- Округин А.В. (2000) Россыпная платиноносность Сибирской платформы. Якутск: СО РАН, 184 с.
- Округин А.В., Герасимов Б.Б. (2025) Минералого-геохимическая характеристика сростаний благородных и редких металлов из рудно-россыпных проявлений Анабарской антеклизы Сибирской платформы. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, **30**(4), 540-558.
- Округин А.В., Толстов А.В. (2017) Петрогеохимическая характеристика сиенит-щелочно-ультраосновного силикатного комплекса пород Томторского массива (Северо-восток Сибирской платформы). *Отчет. геология*, (5), 56-66.
- Округин А.В., Земнухов А.Л., Иванов П.О. (2014) Минералы редких и радиоактивных элементов в комплексных золото-платина-алмазоносных россыпях бассейна р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы. *Наука и образование*, (1), 67-74.
- Округин А.В., Граханов С.А., Селиванова В.В., Сулейманов А.М. (2005) Платиноносность россыпей Якутской алмазоносной провинции. *Платина России. Т. 6. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений*. М.: Геоинформмарк, 134-142.
- Округин А.В., Толстов А.В., Слепцов А.П., Баранов Л.Н. (2019) Петрохимические особенности ассоциации ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов Томторского массива и интерпретация возможных трендов их эволюции. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, **24**(4), 7-24.
- Округин А.В., Зайцев А.И., Борисенко А.С., Земнухов А.Л., Иванов П.О. (2012) Золото-платиноносные россыпи бассейна р. Анабар и их возможная связь с щелочно-ультраосновными магматитами севера Сибирской платформы. *Отчет. геология*, (5), 11-21.
- Округин А.В., Мазур А.Б., Земнухов А.Л., Попков П.А., Слепцов С.В. (2009) Ассоциация палладистого золота с минералами платиновой группы в россыпях бассейна р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы. *Отчет. геология*, (5), 3-11.
- Панина Л.И., Рокосова Е.Ю., Исакова А.Т., Толстов А.В. (2016) Лампрофиты Томторского массива – результат смешения калиевых и натриевых щелочно-базитовых магм. *Петрология*, **24**(6), 654-672.
- Поршнев Г.И., Степанов Л.Л. (1980) Геологическое строение и фосфатность массива Томтор. *Щелочной магматизм и апатитовосность Севера Сибири*. Л.: НИИГА, 84-100.
- Поршнев Г.И., Степанов Л.Л. (1981) Геология и минерогения Уджинской провинции (северо-запад Якутской АССР). *Сов. геология*, (12), 103-106.
- Похиленко Н.П., Афанасьев В.П., Толстов А.В., Крук Н.Н., Похиленко Л.Н., Иванова О.А. (2023) Перспективы развития и проблемы освоения сырьевой базы дефицитных стратегических видов твердых полезных ископаемых Сибири. *Геология руд. месторождений*, **65**(5), 476-492.
- Протопопов Ю.Х. (1993) Тектонические комплексы платформенного чехла Вилюйской синеклизы. Препринт. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 48 с.
- Расс И.Т. (1998) Геохимические особенности карбонатитов – индикатор состава, эволюции и дифференци-

- ции мантийных магм. *Геохимия*, **36**(2), 137-146.
- Сазонов А.М., Романовский А.Э., Гринев О.М., Лаврентьев Ю.Г., Майорова О.Н., Поспелова Л.Н. (1994) Благороднометалльная минерализация Гулинской интрузии. *Геология и геофизика*, **35**(9), 51-65.
- Слепцов А.П., Толстов А.В., Баранов Л.Н. (2016) Новый взгляд на полезные ископаемые Томторского рудного поля. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России*. Мат-лы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Отв. ред. Л.И. Полуфунтикова). Якутск: Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 271-275.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). (2001) (Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина). М.: Наука/Интерпериодика, 571 с.
- Толстов А.В. (1994) Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-Западная Якутия). *Геология и геофизика*, **35**(9), 91-100.
- Толстов А.В. (2006) Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. М.: ИМГРЭ, 212 с.
- Толстов А.В. (2025) Новые перспективы рудоносности Уджинской провинции УЩК. *Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, петрология, рудный потенциал*. Мат-лы IX Всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 182-183.
- Толстов А.В., Гунин А.П. (2001) Комплексная оценка Томторского месторождения. *Вестн. ВГУ. Сер.: Геология*, (11), 144-160.
- Толстов А.В., Лапин А.В. (2024а) Поведение марганца в карбонатах и их корах выветривания на примере массива Томтор. *Геосферные исследования*, (3), 113-121.
- Толстов А.В., Лапин А.В. (2024б) Перспективы Томторского рудного поля на месторождения марганца. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, (4-1), 79-86. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2024-4a-79-86>
- Толстов А.В., Лапин А.В. (2024в) Новые перспективы Томторского рудного поля на месторождения титана, ванадия и марганца. *Вестник Госкомгеологии*, **1**(20), 17-31.
- Толстов А.В., Самсонов Н.Ю. (2014) Томтор: геология, технологии, экономика. *ЭКО*, **2**(476), 36-44.
- Толстов А.В., Похиленко Н.П., Самсонов Н.Ю. (2017) Новые возможности получения редкоземельных элементов из единого арктического сырьевого источника. *Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия*, **10**(1), 125-138.
- Толстов А.В., Похиленко Н.П., Лапин А.В., Крюков В.А., Самсонов Н.Ю. (2014) Инвестиционная привлекательность Томторского месторождения и перспективы ее повышения. *Разведка и охрана недр*, (9), 25-30.
- Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Томская А.И., Тимофеев В.И. (1975) Золотоносность Вилюйской синеклизы и ее обрамления. Новосибирск: Наука, 148 с.
- Шпунт Б.Р. (1970) Платиновые минералы четвертичных отложений Анабаро-Оленекского поднятия. *Геология руд. месторождений*, (2), 123-126.
- Шпунт Б.Р. (1974) Типоморфные особенности и генезис россыпного золота на севере Сибирской платформы. *Геология и геофизика*, (9), 77-88.
- Энтин А.Р., Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Василенко В.Б., Орлов А.И., Тянь О.А., Ольховик Ю.А., Ольштын-ский С.И., Толстов А.В. (1990) О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-западная Якутия). *Геология и геофизика*, **31**(12), 42-51.
- Эрлих Э.Н. (1964) Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы. *Зан. ВМО*, **90**(6), 682-693.
- Baranov L.N., Tolstov A.V. (2026) The Features and genesis of rock-forming minerals in apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, Northern Siberia. *Geol. Ore Deposits*, **68**(1), 108-129. <https://doi.org/10.1134/S1075701524600580>
- Feather C.E. (1976) Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand, South Africa. *Econ. Geol.*, **71**(7), 1399-1428. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.7.1399>
- Malitch K.N. (1999) Platinum-group elements in the clinopyroxenite-dunite massifs of the East Siberia (geochemistry, mineralogy, and genesis). St.Petersburg, VSEGEI Publ., 296 p. (In Russ.)
- Malich K.N., Lopatin G.G. (1997) New data on the metallogeny of the unique Guli clinopyroxenite-dunite massif (Northern Siberia, Russia). *Geol. Ore Deposits*, **39**(3), 209-218.
- Malich K.N., Auge T., Badanina I.Yu., Goncharov M.M., Junk S.A., Pernicka E. (2002) Os-rich nuggets from Au-PGE placers of the Maimecha-Kotui Province, Russia: A multi-disciplinary study. *Mineral. Petrol.*, **76**, 121-148.
- Merkle R.K.W., Gräser P.P.H., Malitch K.N., Badanina I.Yu. (2012) Native osmium from the Guli massif, Northern Siberia, Russia. *Mineral. Petrol.*, **104**(1-2), 115-127. <https://doi.org/10.1007/s00710-011-0173-7>
- Okrugin A., Gerasimov B. (2023) Paragenetic Association of Platinum and Gold Minerals in Placers of the Anabar River in the Northeast of the Siberian Platform. *Minerals*, **13**, 96. <https://doi.org/10.3390/min13010096>
- Okrugin A., Gerasimov B. (2024) Formation of Inter-growths of Platinum-Group Minerals and Gold from Magmatogenic Ores in Relation to Phase Changes in Pt-Pd-Fe-Cu-Au System. *Minerals*, **14**(3), 326. <https://doi.org/10.3390/min14030326>
- Okrugin A.V., Yakubovich O.V., Ernst R.E., Druzhinina Zh.Yu. (2020) Platinum-bearing placers: mineral associations and their ^{190}Pt - ^4He and Re-Os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton. *Econ. Geol.*, **115**(8), 1835-1853.
- Tolstov A.V., Cherenkov V.G., Baranov L.N. (2023) Genesis and Age of the ore thickness of the Tomtor Deposit of niobium and rare-earth elements (Northeast Siberian platform). *Geol. Ore Deposits*, **65**(S2), 276-286. <https://doi.org/10.1134/s1075701523090076>

REFERENCES

- Afanas'ev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., Koptil' V.I., Mityukhin S.I., Gerasimchuk A.V., Pomazanskii B.S., Gorev N.I. (2011) Polygenesis of diamonds in the Siberian platform. *Russ. Geol. Geophys.*, **52**(3), 259-274 (translated from *Geol. Geofiz.*, **52**(3), 335-353).
- Aplonov V.S., Erlich Z.N. (1980) Temperature of Formation of Minerals, Rocks, and Ores of the Tomtor Massif. *Alkaline Magmatism and Apatite Mineralization of Northern Siberia*. Leningrad, NIIGA, 112-123. (In Russ.)

- Baranov L.N., Tolstov A.V. (2026) The Features and genesis of rock-forming minerals in apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, Northern Siberia. *Geol. Ore Deposits*, **68**(1), 108-129. <https://doi.org/10.1134/S1075701524600580>
- Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V., Sleptsov A.P. (2018) New in the Mineralogy and Geochemistry of Apatite-Magnetite Ores of the Tomtor Massif, Northeast of the Siberian Platform. *Rudy i metally*, (2), 42-54. (In Russ.)
- Efimov A.A. (1966) The Problem of Dunite. *Sov. Geol.*, (5), 13-27. (In Russ.)
- Egorov L.S. (1969) Melilite rocks of the Maimecha-Kotui province. Leningrad, Nedra Publ., 248 p. (In Russ.)
- Egorov L.S., Surina L.P., Porshnev G.I. (1985) Udzha ore-magmatic complex of ultramafic alkaline rocks and carbonatites. *Ore-magmatic complexes of the north-west of the Siberian platform and Taimyr* (Ed. by A.N. Vishnevskii, D.A. Dodin). Leningrad, Sevmorgeologiya Publ., 138-154. (In Russ.)
- Entin A.R., Zaitsev A.I., Nenashev N.I., Vasilenko V.B., Orlov A.I., Tyan O.A., Olkhovik Yu.A., Olshtynsky S.I., Tolstov A.V. (1990) On the sequence of geological events associated with the intrusion of the Tomtor massif of ultramafic alkaline rocks and carbonatites (North-Western Yakutia). *Geol. Geofiz.*, **31**(12), 42-51. (In Russ.)
- Erlikh E.N. (1964) A new province of alkaline rocks in the northeast of the Siberian platform. *Zap. VMO*, **90**(6), 682-693. (In Russ.)
- Feather C.E. (1976) Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand, South Africa. *Econ. Geol.*, **71**(7), 1399-1428. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.7.1399>
- Geological Map of Siberian Platform and Adjoining Areas. (1999) Scale 1:1 500 000 (Ed. by N.S. Malitch). St.Petersburg, VSEGEI. (In Russ.)
- Gerasimov B.B., Nikiforova Z.S. (2005) Placer gold-bearing of the Mayat River in the Anabar River basin. *Otechestvennaya Geol.*, (5), 38-41. (In Russ.)
- Gerasimov B.B., Nikiforova Z.S., Pavlov V.I. (2014) Mineralogical and geochemical features of the gold of the Bolshaya Kuonamka river placer. *Nauka i Obrazovanie*, (3), 74-78. (In Russ.)
- Kogarko L.N., Ukhonov A.V., Nikolskaya N.E. (1994) New data on the content of platinum group elements in rocks of the iolite-carbonatite formation (Guli and Kugda massifs, Maymecha-Kotuyskaya province, Polar Siberia). *Geokhimiya*, (11), 1568-1676. (In Russ.)
- Kravchenko S.M., Russ I.T. (2010) Tomtor – an Alkaline Carbonatite Massif: The World's Largest Sc-REE-Y-Nb Deposit. *Tr. IGERAN*, (4), 532-548. (In Russ.)
- Kravchenko S.M., Belyakov A.Yu., Pokrovsky B.G. (1992) Geochemistry and Genesis of the Tomtor Massif (North of the Siberian Platform). *Dokl. RAN*, **322**(5), 966-972. (In Russ.)
- Kravchenko S.M., Belyakov A.Yu., Kubyshev A.I., Tolstov A.V. (1990) Scandium-rare-earth-yttrium-niobium ores – a new type of rare-metal raw material. *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **32**(1), 105-109. (In Russ.)
- Kuznetsova I.N., Rozinova E.L., Mishchenko K.S. (1980) Accessory rare-earth mineralization in dolomite-ankerite carbonatites and crust from weathering in the North of the Siberian Platform. *Alkaline magmatism and apatite-bearing of the North of Siberia*. Leningrad, NIIGA, 69-73. (In Russ.)
- Lapin A.V., Tolstov A.V. (1991) Oxidation and reduction stages of the formation of the hypergenesis zone of carbonatites and their ore-bearing potential. *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **33**(4), 81-91. (In Russ.)
- Lapin A.V., Tolstov A.V. (1995) Deposits of Carbonatite Weathering Crusts. Moscow, Nauka Publ., 208 p. (In Russ.)
- Lapin A.V., Tolstov A.V. (2011) Mineralogy of Carbonatite Weathering Crusts. Moscow, IMGRE; Geokart-GEOS Publ., 308 p. (In Russ.)
- Lapin A.V., Tolstov A.V., Nabelkin O.A., Kulikova I.M. (2024) A Unique Polycomponent Ore Formation of Carbonatite Weathering Crusts: New Prospects for Fe, Mn, Ti, and V. *Geol. Geofiz.*, **65**(8), 1080-1092. (In Russ.)
- Lazarenkov V.G., Malich K.N., Lopatin G.G. (1983) Geochemistry of ultramafic rocks of the platinum-bearing Gulinsky massif of the Maymecha-Kotuyskaya province. *Geokhimiya*, (11), 1523-1531. (In Russ.)
- Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Dobretsov N.L., Tolstov A.V., Shcherbov B.L., Karmanov N.S., Gerasimov E.Yu., Bryanskaya A.V. (2015) Main minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia). *Russ. Geol. Geophys.*, **56**(6), 844-873 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(6), 1080-1115). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.05.003>
- Likhachev A.P., Kirichenko V.T., Lopatin G.G., Kirichenko A.A., Deryagina G.G., Rudashevsky N.S., Botovala M.M. (1987) Features of platinum-bearing alkaline-ultramafic formations. *Zap. VMO*, **116**(1), 122-125. (In Russ.)
- Malich K.N., Lopatin G.G. (1997) New data on the metallogeny of the unique Guli clinopyroxenite-dunite massif (Northern Siberia, Russia). *Geol. Ore Deposits*, **39**(3), 209-218.
- Malich K.N., Rudashevsky N.S. (1992) On the primary mineralization of chromitites of the Gulinsky massif. *Dokl. AN*, **325**(5), 1026-1029. (In Russ.)
- Malich K.N., Badanina I.Yu., Bulatov V.A., Voinin A.A. (2023) Unusual mineral associations of platinum and gold of the Gulinsky massif (Polar Siberia): new data. *Mineralogical and Geochemical Research for Solving Problems of Petro- and Ore Genesis, Identifying New Types of Mineral Resources, and Their Rational Use*. Materials of the Annual Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorovskaya Session. St.Petersburg, RMO, 128-129. (In Russ.)
- Malich K.N., Auge T., Badanina I.Yu., Goncharov M.M., Junk S.A., Pernicka E. (2002) Os-rich nuggets from Au-PGE placers of the Maimecha-Kotui Province, Russia: A multi-disciplinary study. *Mineral. Petrol.*, **76**, 121-148.
- Manakov A.V., Gorev N.I. (1993) Physical and Geological Modeling of the Earth's Crust in the Anabara-Olenyok Interfluvial Region in Relation to the Location of Kimberlites. *Objects of Search Operations for Various Stages of the Geological Exploration Process for Diamonds*. Mirny, 43-46. (In Russ.)
- Matveyev A.I., Tolstov A.V., Petrov I.M. (2025) Scheme for the Creation of a Rare-Metal Cluster in the Republic of Sakha (Yakutia). *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*, **30**(1), 7-27. (In Russ.)
- Merkle R.K.W., Gräser P.P.H., Malitch K.N., Badanina I. Yu. (2012) Native osmium from the Guli massif, Northern Siberia, Russia. *Mineral. Petrol.*, **104**(1-2), 115-127. <https://doi.org/10.1007/s00710-011-0173-7>

- Okrugin A.V. (2000) Placer Platinum Resources of the Siberian Platform. Yakutsk, SO RAN, 184 p. (In Russ.)
- Okrugin A., Gerasimov B. (2023) Paragenetic Association of Platinum and Gold Minerals in Placers of the Anabar River in the Northeast of the Siberian Platform. *Minerals*, **13**, 96. <https://doi.org/10.3390/min13010096>
- Okrugin A., Gerasimov B. (2024) Formation of Inter-growths of Platinum-Group Minerals and Gold from Magmatogenic Ores in Relation to Phase Changes in Pt-Pd-Fe-Cu-Au System. *Minerals*, **14**(3), 326. <https://doi.org/10.3390/min14030326>
- Okrugin A.V., Gerasimov B.B. (2025) Mineralogical and geochemical characteristics of noble and rare-metal inter-growths from ore-placer occurrences, Anabar antecline, Siberian platform. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktika*, **30**(4), 540-558. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Tolstov A.V. (2017) Petrogeochemical Characteristics of the Syenite-Alkaline-Ultramafic Silicate Complex of the Tomtor Massif (North-East of the Siberian Platform). *Otechestvennaya Geol.*, (5), 56-66. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Zemnukhov A.L., Ivanov P.O. (2014) Minerals of Rare and Radioactive Elements in Complex Gold-Platinum-Diamond Placer Deposits of the Anabar River Basin in the Northeast of the Siberian Platform. *Nauka i Obrazovanie*, (1), 67-74. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Grakhanov S.A., Selivanova V.V., Suleymanov A.M. (2005) Platinum Content of Placer Deposits in the Yakut Diamond Province. *Platinum of Russia. V. 6. New unconventional types of platinum-containing deposits*. Moscow, Geoinformmark Publ., 134-142. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Tolstov A.V., Sleptsov A.P., Baranov L.N. (2019) Petrochemical features of the association of ultramafic-alkaline rocks and carbonatites of the Tomtor massif and interpretation of possible trends in their evolution. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktika*, **24**(4), 7-24. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Yakubovich O.V., Ernst R.E., Druzhinina Zh. Yu. (2020) Platinum-bearing placers: mineral associations and their ^{190}Pt - ^4He and Re-Os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton. *Econ. Geol.*, **115**(8), 1835-1853.
- Okrugin A.V., Mazur A.B., Zemnukhov A.L., Popkov P.A., Sleptsov S.V. (2009) Association of Palladium Gold with Platinum Group Minerals in Placer Deposits of the Anabar River Basin in the Northeast of the Siberian Platform. *Otechestvennaya Geol.*, (5), 3-11. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Zaitsev A.I., Borisenko A.S., Zemnukhov A.L., Ivanov P.O. (2012) Gold-and-platinum-bearing placers of the Anabar River basin and their possible connection with alkaline-ultramafic magmatites of the north of the Siberian platform. *Otechestvennaya Geol.*, (5), 11-21. (In Russ.)
- Panina L.I., Rokosova E.Yu., Isakova A.T., Tolstov A.V. (2016) Lamprophyres of the Tomtor Massif: A Result of Mixing Potassium and Sodium Alkaline-Basitic Magmas. *Petrologiya*, **24**(6), 654-672. (In Russ.)
- Pokhilenko N.P., Afanasyev V.P., Tolstov A.V., Kruk N.N., Pokhilenko L.N., Ivanova O.A. (2023) Prospects for the Development and Problems of the Resource Base of Strategic Solid Minerals in Siberia. *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **65**(5), 476-492. (In Russ.)
- Porshnev G.I., Stepanov L.L. (1980) Geological structure and phosphatiferousness of the Tomtor massif. *Alkaline magmatism and apatite-bearing rocks of the North of Siberia*. Leningrad, NIIGA, 84-100. (In Russ.)
- Porshnev G.I., Stepanov L.L. (1981) Geology and mineral genesis of the Udjinskaya province (north-west of the Yakut ASSR). *Sov. Geol.*, (12), 103-106. (In Russ.)
- Protopopov Yu.Kh. (1993) Tectonic Complexes of the Platform Cover of the Vilyuy Sineclise. Preprint. Yakutsk, YANTs SO RAN, 48 p. (In Russ.)
- Rass I.T. Geochemical features of carbonatite indicative of the composition, evolution, and differentiation of their mantle magmas. *Geochem. Int.*, **36**(2), 107-116 (translated from *Geokhimiya*, **36**(2), 137-146).
- Sazonov A.M., Romanovsky A.E., Grinev O.M., Lavrent'ev Yu.G., Maiorova O.N., Pospelova L.N. (1994) Noble metal mineralization of the Guli intrusion. *Geol. Geofiz.*, **35**(9), 51-65. (In Russ.)
- Shpunt B.R. (1970) Platinum minerals in Quaternary deposits of the Anabar-Olenek Uplift. *Geol. Rud. Mestorozhd.*, (2), 123-126. (In Russ.)
- Shpunt B.R. (1974) Typomorphic features and genesis of placer gold in the north of the Siberian platform. *Geol. Geofiz.*, (9), 77-88. (In Russ.)
- Sleptsov A.P., Tolstov A.V., Baranov L.N. (2016) A New Look at the Mineral Resources of the Tomtor Ore Field. In the collection: *Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia*. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (Ed. by L.I. Polufuntikova). Yakutsk, Severo-Vostochnyi federal'nyi universitet imeni M.K. Ammosova, 271-275. (In Russ.)
- Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia). (2001) (Ed. by L.M. Parfenov, M.I. Kuzmin). Moscow, Nauka/Interperiodica Publ., 571 p. (In Russ.)
- Tolstov A.V. (1994) Features of mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif (North-Western Yakutia). *Geol. Geofiz.*, **35**(9), 91-100. (In Russ.)
- Tolstov A.V. (2006) The main ore formations of the North of the Siberian platform. Moscow, IMGRE, 212 p. (In Russ.)
- Tolstov A.V. (2025) New prospects for the ore content of the Udzha province of UAC. *Ultramafic-mafic complexes: geology, petrology, ore potential*. Proc. IX All-Russian Conf. with international participation. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 182-183. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Gunin A.P. (2001) Comprehensive assessment of the Tomtorskoye field. *Vestn. VGU. Ser.: Geologiya*, (11), 144-160. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Lapin A.V. (2024a) Behavior of manganese in carbonatites and their weathering crusts on the example of the Tomtor massif. *Geosfernye Issledovaniya*, (3), 113-121. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Lapin A.V. (2024b) Prospects of the Tomtor ore field for manganese deposits. *Geologiya i mineral'naya resursy Sibiri*, (4-1), 79-86. (In Russ.) <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2024-4a-79-86>
- Tolstov A.V., Lapin A.V. (2024b) New prospects for the Tomtor ore field for titanium, vanadium, and manganese deposits. *Vestnik Goskomgeologii*, **1**(20), 17-31. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Samsonov N.Yu. (2014) Tomtor: Geology, Technologies, and Economics. *ECO*, **2**(476), 36-44. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Cherenkov V.G., Baranov L.N. (2023) Genesis and Age of the ore thickness of the Tomtor Deposit of ni-

- obium and rare-earth elements (Northeast Siberian platform). *Geol. Ore Deposits*, **65**(S2), 276-286. <https://doi.org/10.1134/s1075701523090076>
- Tolstov A.V., Pokhilenko N.P., Samsonov N.Yu. (2017) New Opportunities for Obtaining Rare-Earth Elements from a Single Arctic Source. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Khimiya*, **10**(1), 125-138. (In Russ.)
- Trushkov Yu.N., Izbekov E.D., Toms kaya A.I., Timofeyev V.I. (1975) The gold-bearing potential of the Viluy syncline and its environs. Novosibirsk, Nauka Publ., 148 p. (In Russ.)
- Tolstov A.V., Pokhilenko N.P., Lapin A.V., Kryukov V.A., Samsonov N.Yu. (2014) Investment Attractiveness of the Tomtor Deposit and Prospects for Its Enhancement. *Razvedka i Okhrana Nedr*, (9), 25-30. (In Russ.)
- Vasil'ev Yu.R., Zolotukhin V.V. (1975) Petrology of ultrabasic rocks from the north of the Siberian Platform and some problems of their genesis. Novosibirsk, Nauka Publ., 272 p. (In Russ.)
- Vladykin N.V. (2016) Model of the Origin and Crystallization of Ultra-Basic-Alkaline-Carbonatite Magmas in the Siberian Region, Problems of Their Ore Deposits, Mantle Sources, and Connection with the Plume Process. *Geol. Geofiz.*, **57**(5), 889-905. (In Russ.)
- Vladykin N.V., Kotov A.B., Borisenko A.S., Yarmolyuk V.V., Pokhilenko N.P., Salnikova E.B., Travin A.V., Yakovleva S.Z. (2014) Age boundaries of the formation of the alkaline-ultramafic Tomtor massif: results of geochronological U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ studies. *Dokl. RAN*, **454**(2), 195-199. (In Russ.)
- Zhabin A.G. (1965) On the Structure and Sequence of the Formation of the Gulin Complex of Dunites, Ultrabasic and Ultrabasic-Alkaline Lavas, Alkaline Rocks, and Carbonatites. *Petrology and Geochemical Features of Complex of Ultrabasites, Alkaline Rocks, and Carbonatites*. Moscow, Nauka Publ., 159-192. (In Russ.)
- Zhmodik S.M., Lazareva E.V., Ayriants E.V., Belyanin D.K., Kiseleva O.N., Musiyachenko K.A., Tolstov A.V., Saryg-ool B.O.Yu. (2024) Gold and Silver in High-Potassium Nepheline Syenites of the Tomtor Complex (Based on the Bogdo Massif, Arctic Siberia). *Geosfernye Issledovaniya*, (3), 101-112. (In Russ.)