

УДК: 551.24(571.65)

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОГНОЗ РУДНОГО ЗОЛОТА*

Сняtkова О. Л., Пронягин Н. И.

Всероссийский институт разведочной геофизики, ВИРГ, г. Санкт-Петербург

E-mail: sve-gaben@mail.ru

Главная золотоносная зона Колымо-Чукотского складчатого пояса контролируется выделенным по гравитационным данным Яно-Колымским прогибом земной коры, в который вовлечены мощные (25 км) терригенные формации и «подстилающие» их мигматиты, а также нижние слои земной коры и астеносферы. Яно-Колымский прогиб формируется под влиянием астеносферного первичного глубинного магматического бассейна ультрамафитовой магмы. Проанализирован важнейший рудоконтролирующий фактор – глубина эрозионного среза структур: наименее эродированными являются структуры глубинного Яно-Колымского прогиба, из чего следует, что богатые россыпи Главной золотоносной зоны могли образоваться из очень богатых коренных золоторудных источников. Этот вывод определяет прогнозные ресурсы Главной зоны и согласуется с рассчитанным коэффициентом превышения запасов коренных источников над запасами россыпей. Коэффициент золоторудности 2.6 использован для прогнозной оценки минерагенического потенциала рудного золота Колымо-Чукотского пояса, который составляет 6000 т.

Ключевые слова: прогиб, мигматиты, астеносфера, магматический бассейн, коэффициент золоторудности.

DOI: 10.34078/1814-0998-2024-2-45-58

ВВЕДЕНИЕ

Статья написана на основе материалов авторов о тектоническом строении мезозойской Верхояно-Чукотской области деформаций и закономерностях размещения рудного золота в этом регионе, полученных при геолого-геофизических исследованиях в ВИРГе (1995, 1996) совместно с Е. В. Рокотяном и П. А. Лебедкиным, а также материалов Л. А. Сняtkова¹ (1931–1979) по прогнозу мезотермальных месторождений золото-кварцевой формации.

В настоящее время для Северо-Востока России становится актуальной разработка глубинных структурно-тектонических и геофизических критериев прогноза рудного золота в связи с тем, что запасы россыпного золота истощаются и поиски должны быть направлены на изучение рудных месторождений, в первую очередь месторождений золото-кварцевой формации. Последние в

основном сосредоточены в Главной золоторудной зоне и в большей части слабо изучены бурением и геофизическими методами (за исключением Колымского Центрально-Промышленного района). Большая территория России изучена сетью геотраверсов и региональных профилей, на которых выполнены главные виды геофизических работ, петрофизические исследования и бурение глубоких и сверхглубоких скважин. Осталась неисследованной огромная территория Северо-Востока России. Ситуация изменилась после выполнения опорных геолого-геофизических профилей 3-ДВ, 2-ДВ, 2-ДВА и др. Однако результаты геофизических исследований на опорных профилях остались не заверенными бурением глубокой или сверхглубокой скважины. Отметим также, что на территории Северо-Востока России осталась неизученной природа отрицательных аномалий поля силы тяжести, контролирующих размеще-

pp. Бол. и Мал. Ат-Юрях, участник открытия в 1932 г. Эльгинского бурогоугольного месторождения, главный редактор и составитель региональных геологических и тектонических карт территории Северо-Востока России, один из главных разработчиков методики геологического дешифрирования аэрофотоматериалов, впервые в мире примененного на огромной площади Верхояно-Чукотской области деформации (Мелуа, 2000).

© Сняtkова О. Л., Пронягин Н. И., 2024

* Печатается в дискуссионном порядке (отв. ред.).

¹ Л. А. Сняtkов – участник второй экспедиции Ю. А. Билибина, которая прибыла под руководством В. А. Цареградского на Колыму в 1931 г. Л. А. Сняtkов – крупнейший знаток геологии Северо-Востока России, первооткрыватель богатейших россыпей золота в бассейне р. Дебин и один из первооткрывателей россыпей

ние золоторудных зон. Опорные профили практически не пересекают центральную часть Яно-Колымского гравиметрического суперминимума (-200 мЛг), не охвачены опорными профилями и менее интенсивные аномалии поля силы тяжести, кроме района Чукотских структур.

Цель настоящей статьи – на основе анализа новых данных о глубинном строении Северо-Востока России оценить причину разной продуктивности золотоносных зон и рассмотреть перспективы Главной золотоносной зоны на открытие новых золоторудных месторождений.

МЕТОДИКА

Методика авторских исследований заключается, прежде всего, в осмыслении большого фактического материала по глубинному строению Верхояно-Чукотской складчатой подвижной области за период 1964–2021 гг. Особое внимание уделено изучению работ, обобщающих большой фактический материал (Деменицкая, 1975; Булин, 1989; Вашилов, 1993; Волков, 2002; Астеносфера и литосфера, 2003; Кашубин и др., 2018, 2021). Данные этих исследователей детально изучены и рассмотрены с точки зрения магматогенного структурообразования в земной коре и роли астеносферы в строении и эволюции литосферы. Особое внимание уделено изучению геологической природы Яно-Колымского гравитационного суперминимума, который контролирует размещение Главной золоторудной зоны Северо-Востока России. Глубинная модель суперминимума построена двумя методами: на основании анализа разрозненных гравиметрических данных, взятых из печатных работ предыдущих исследователей, и на основании расчета гравитационного суперминимума, выполненного авторами статьи. Проведены следующие виды работ: определение локального поля силы тяжести первого порядка, изучение региональной составляющей поля силы тяжести, изучение локального поля силы тяжести второго порядка и далее составление расчетных разрезов по гравитационным аномалиям разного порядка. Перечисленные работы выполнены на основании анализа, построенного по спутниковым данным карты отклонения геоида от нормального сфероида, и последующей количественной интерпретации. Для получения новых данных о глубинном строении территории и для заверки результатов гравитационных исследований выполнена большая работа по составлению сводного сейсмического разреза, пересекающего всю территорию Северо-Востока России, в том числе пересекающего на гравитационной карте Яно-Колымский суперминимум. Для Чукотской складчатой зоны, контролирующей расположение особого типа золоторудных месторождений и занимающей особое положение в

тектонических структурах региона, построена вторая глубинная модель. Модель основывается на анализе опубликованных работ периода 1964–1975 гг. и дополнена данными анализа опорного профиля 2-ДВ (Симонов и др., 2003; Кашубин и др., 2018, 2021). Сущность модели заключается в подъеме к поверхности земной коры и наличии несогласия между структурами осадочных толщ и структурами кристаллического основания. Полученная глубинная модель Чукотских структур и ее сравнение с Яно-Колымским прогибом позволили сделать ряд важных выводов: о природе отрицательных аномалий поля силы тяжести, о глубине эрозионного среза структур, влияющего на продуктивность золотоносных зон, и об особом тектоническом положении Верхояно-Чукотской складчатой области.

На основе геологической интерпретации геофизических данных построен макет тектонической схемы Верхояно-Чукотской подвижной области (рис. 1) и схема размещения золоторудных зон на карте аномалий поля силы тяжести (рис. 2). Последние обобщающие исследования позволили уточнить закономерности размещения золоторудных месторождений в геофизических полях и глубинных структурах Северо-Востока России.

ОСНОВНЫЕ ФАКТЫ И ВЫВОДЫ

Колымо-Чукотский складчатый пояс является крупной тектонической структурой Северо-Востока России (рис. 1). Внутри Верхояно-Чукотской мезозойской области деформаций он протягивается на расстояние 4000 км при средней ширине около 350 км. Широкое распространение в границах пояса морских верхнеюрских отложений и незначительный процент (около 8 %) его площади, занимаемый гранитоидами, показывает, что пояс в основном подвергся относительно неглубокой эрозии. Среди месторождений пояса важное значение имеют месторождения золота, которые представлены многочисленными богатыми четвертичными россыпями и мезотермальными золоторудными месторождениями. Северо-Восток России является крупнейшей золотоносной провинцией мира, где добыто более 3500 т золота (Волков, 2002). Промышленная добыча золота ведется в основном из россыпей (более 50 %) и золото-серебряных месторождений (ежегодно до 40 т золота и 1.5 тыс. т серебра); доля металла, полученного из месторождений золото-кварцевой формации, составляет незначительный процент (около 2 т). Для территории Верхояно-Чукотской мезозойской области деформаций, занимающей площадь около 2.5 млн м², тектоническое районирование проведено по региональным особенностям поля силы тяжести, которое выполнено с позиции ведущей роли магматических процессов в формировании структур (Сняткова, Пронягин, 2014).

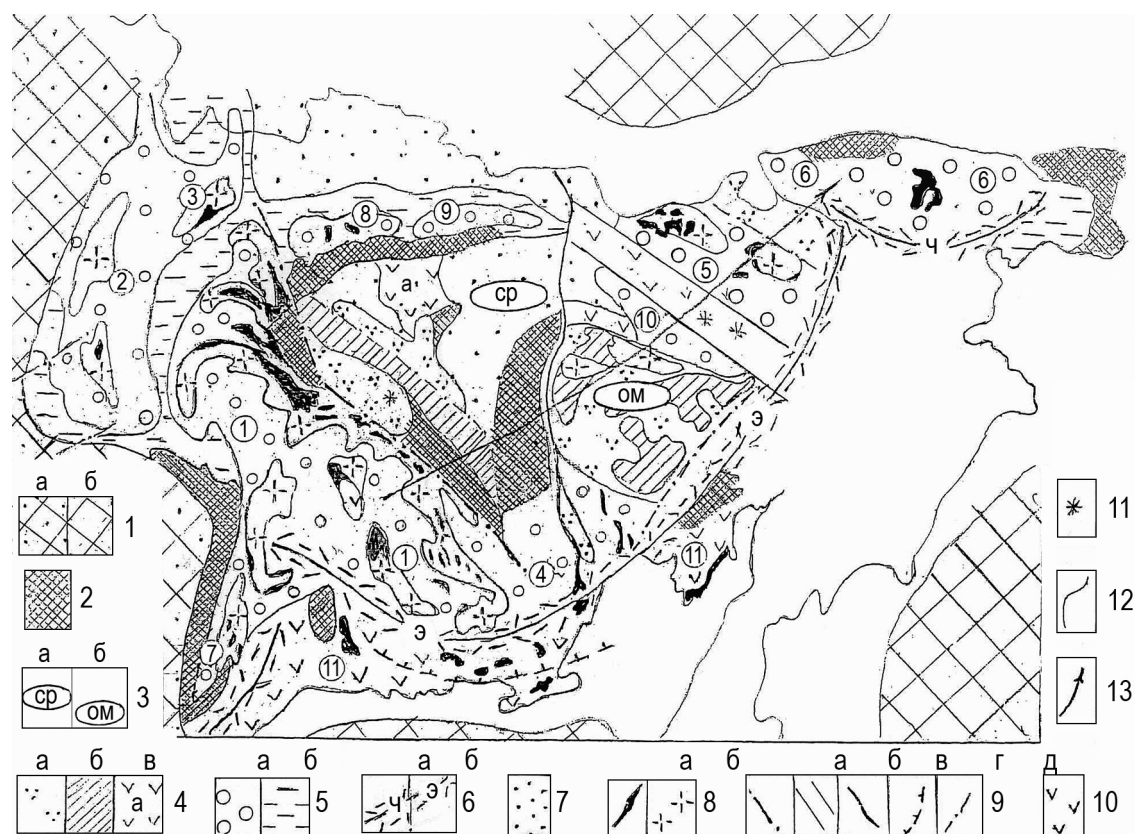


Рис. 1. Тектоническая схема Верхояно-Чукотской мезозойской области деформаций (составлена О. Л. Снятковой и Н. И. Пронягиным).

Условные обозначения:

1. Платформы и мегаплатформы: 1а – Сибирская, континентальная; 1б – Охотоморская, Арктическая, Тихоокеанская.

Верхояно-Чукотская мезозойская подвижная область. 2. Тектонические блоки, сложенные отложениями среднего и нижнего палеозоя и докембрия.

Колымский срединный массив. 3. Главные структуры: 3а – Среднеколымский массив, 3б – Омолонская глыба.

4. Структуры Среднеколымского массива и Омолонской глыбы: 4а – прогибы; 4б – поднятия; 4в – Алазейское поднятие, сложенное ниже- и среднеюрскими дифференцированными до базальтов эффузивами, объясняющими, кроме прочего, высокое значение поля силы тяжести.

5. Колымо-Чукотский складчатый пояс. Крупные складчатые структуры, слагающие верхние части прогибов: 5а – сложенные относительно мощными толщами верхоянского комплекса, сопровождаемые отрицательными аномалиями поля силы тяжести; 5б – предположительно маломощные толщи верхоянского комплекса, отмечаемые положительными аномалиями поля силы тяжести, развивающиеся, возможно, на поднятых блоках.

Цифры в кружках – сложноскладчатые структуры. Выпуклые и поднятые структуры: 2 – Верхоянский мегаантиклинорий; 3 – Куларский антиклинорий; 4 – Балыгычанский брахиантиклинорий. Чукотское поднятие к поверхности земной коры: 5 – Ануйская; 6 – Амгуэмо-Чаунская (имеют переходный тип земной коры от континента к океану). Прогнутые структуры: 1 – Яно-Колымский прогиб земной коры, сложенный терригенным прогибом, согласным с прогибом земной коры и астеносферы (имеет типичную континентальную кору, характерную для подвижных поясов); 7 – Аллах-Юньский синклиний; 8 – Ирбычанский синклиний; 9 – Ерчинский синклиний; 10 – Олойчанский синклиний; 11 – Охотская тектоническая зона.

Охотско-Чаунская зона окраинно-континентальных (верхнемеловых и палеоценовых) вулканических дуг – поля эффузивных пород. 6 – вулканические дуги: 6а – Чаунская; 6б – Эвенская. **Прочие структуры:** 7 – территория Верхояно-Чукотской области, перешедшая в платформенную стадию развития, чехол низменности – верхнечетвертичные и современные континентальные отложения. 8 – интрузии гранитоидов: 8а – на поверхности; 8б – на глубине (интерпретация отрицательных локальных аномалий поля силы тяжести). 9 – тектонические нарушения: 9а – разрыв Улахан; 9б – Южно-Ануйская шовная зона; 9в – Столбовский разрыв (грабен?), переходящий в Омсукчанский прогиб, – отделяет Омолонскую глыбу от докембрийского Столбовского блока, выделен по космическому снимку; 9г – Тауйский сброс (Генеральный разрыв по Ю. Я. Ващиллову); 9д – сдвиги, сопровождающие надвиг (Верхоянский мегаантиклинорий). 10 – поля эффузивов и туфов, дифференцированных от андезитов до липаритов и от базальтов до андезитов, верхнеюрские и нижнемеловые, частично ниже- и среднеюрские (Охотская зона и Алазейское поднятие). 11 – четвертичные вулканы. 12 – гра-



ницы по геолого-геофизическим данным. 13 – увеличение глубины эрозионного среза структур вследствие воздымания к поверхности литосферной мантии.

Fig. 1. Tectonic scheme of the Verkhoyansk-Chukotka Mesozoic region of deformations (compiled by O. L. Snyatkova and N. I. Pronyagin)

Legend:

1. Platforms and megaplatforms: 1a – Siberian, continental; 1б – Sea of Okhotsk, Arctic, Pacific. **Verkhoyansk-Chukotka Mesozoic mobile region.** 2. Tectonic blocks composed of the Middle and Lower Paleozoic and Precambrian deposits. **Kolyma median massif.** 3. Main structures: 3a – Mid-Kolyma massif; 3б – Omolon block.

4. Structures of the Mid-Kolyma massif and the Omolon block: 4a – downfolds; 4б – uplifts; 4в – Alazeya uplift composed of Lower and Middle Jurassic effusives differentiated to basalts, which explain, among other things, the high value of the gravity field.

5. Kolyma-Chukotka fold belt. Large folded structures composing the upper parts of the tectonic depression: 5a – composed of relatively thick strata of the Verkhoyansk complex, accompanied by negative anomalies of the gravity field; 5б – presumably thin strata of the Verkhoyansk complex, marked by positive anomalies of the gravity field, and developing probably on the uplifted blocks.

The circled numbers are complex folded structures. Convex and uplifted structures: 2 – Verkhoyansk mega-anticlinorium; 3 – Kular anticlinorium; 4 – Balygychan brachyanticlinorium. Chukotka uplift to the surface of the earth's crust: 5 – Anyuy; 6 – Amguema-Chaun (a transitional type of the earth's crust from the continent to the ocean). Downfolds: 1 – Yana-Kolyma downfold of the earth's crust, composed of a terrigenous downfold accordant with that of the earth's crust and asthenosphere (has a typical continental crust characteristic of mobile belts); 7 – Allakh-Yun synclinorium; 8 – Irbychan synclinorium; 9 – Yercha synclinorium, 10 – Oloychan synclinorium; 11 – Okhotsk tectonic zone.

Okhotsk-Chaun zone of marginal continental (Upper Cretaceous and Paleocene) volcanic arcs – fields of effusive rocks. 6 – volcanic arcs: 6a – Chaun, 6б – Evensk.

Other structures: 7 – the territory of the Verkhoyansk-Chukotka region transformed into the platform stage of development, the lowland cover consists of Upper Quaternary and modern continental deposits. 8 – granitoid intrusions: 8a – at the surface; 8б – at depth (interpretation of negative local anomalies of the gravity field). 9 – tectonic deformations: 9a – Ulakhan rupture; 9б – South Anyuy suture zone; 9в – Stolbovsky rupture (graben?), transformed into the Omsukchan tectonic downfold; it separates the Omolon block from the Precambrian Stolbovsky block, identified from a satellite image; 9г – Tauy fault (General rupture, according to Yu. Ya. Vashchilov); 9д – shifts accompanying the thrust (Verkhoyansk mega-anticlinorium). 10 – fields of effusives and tuffs, differentiated from andesites to liparites and from basalts to andesites, Upper Jurassic and Lower Cretaceous, partly Lower and Middle Jurassic (Okhotsk zone and Alazeya uplift). 11 – Quaternary volcanoes. 12 – boundaries based on geological and geophysical data. 13 – increase in the thickness of the structures erosion cut due to uplifting to the lithospheric mantle surface.

Неравномерность опускания Северо-Восточного региона в период осадконакопления привела к обособлению двух крупных тектонических элементов, собственно прогиба и внутренней структуры, первая из которых преобразована в Колымо-Чукотский складчатый пояс, а вторая – в Колымский срединный массив (рис. 1). По геологическим данным, Колымо-Чукотский складчатый пояс сформировался из прогибов, которые образовались в процессе погружения территории в пермское, триасовое и большую часть юрского времени.

Колымо-Чукотский складчатый пояс имеет почти кольцевую структуру и окружает с юго-западной, западной и северной стороны Колымский срединный массив (рис. 1).

В гравитационном поле складчатый пояс выражается системой отрицательных аномалий поля силы тяжести, окружающих дифференцированные положительные поля над Колымским срединным массивом (рис. 2). Разномасштабными локальными отрицательными аномалиями на поверхности и глубине выделяются гранитоидные интрузии, увеличивающиеся с глубиной почти вдвое масштабы своего присутствия и объединяющиеся в более крупные магматические тела,

часто подстилающие золоторудные месторождения. Высказывается предположение, что система отрицательных аномалий отражает наличие в разрезе Колымо-Чукотского складчатого пояса системы преобладающих прогибов земной коры, кроме Чукотского поднятия (рис. 1). Прогибы земной коры в верхней части представлены прогибами, которые сложены породами с отрицательной избыточной плотностью – терригенными формациями, прорванными гранитоидами; средняя плотность мезозойских гранитоидов равна 2.61 г/см³ (пределы 2.54–2.67 г/см³); средняя плотность терригенных пород, составляющих 50 % терригенных формаций, равна 2.62 г/см³ (пределы 2.56–2.68 г/см³). Приведены данные петроплотностной карты Северо-Востока России (Зимникова, 1995). Установлена прямая зависимость интенсивности отрицательных аномалий поля силы тяжести от мощности залегающих под ними терригенных толщ. Под Яно-Колымским суперминимумом (интенсивность –200 мГл) мощность терригенных толщ (терригенный прогиб) составляет 10–12 км (Снятков, 1958; Сосунов, 1982), и под отрицательной аномалией поля силы тяжести –50 мГл в районе Чукотских структур мощность терригенных толщ равна 4–8 км (Снятков,

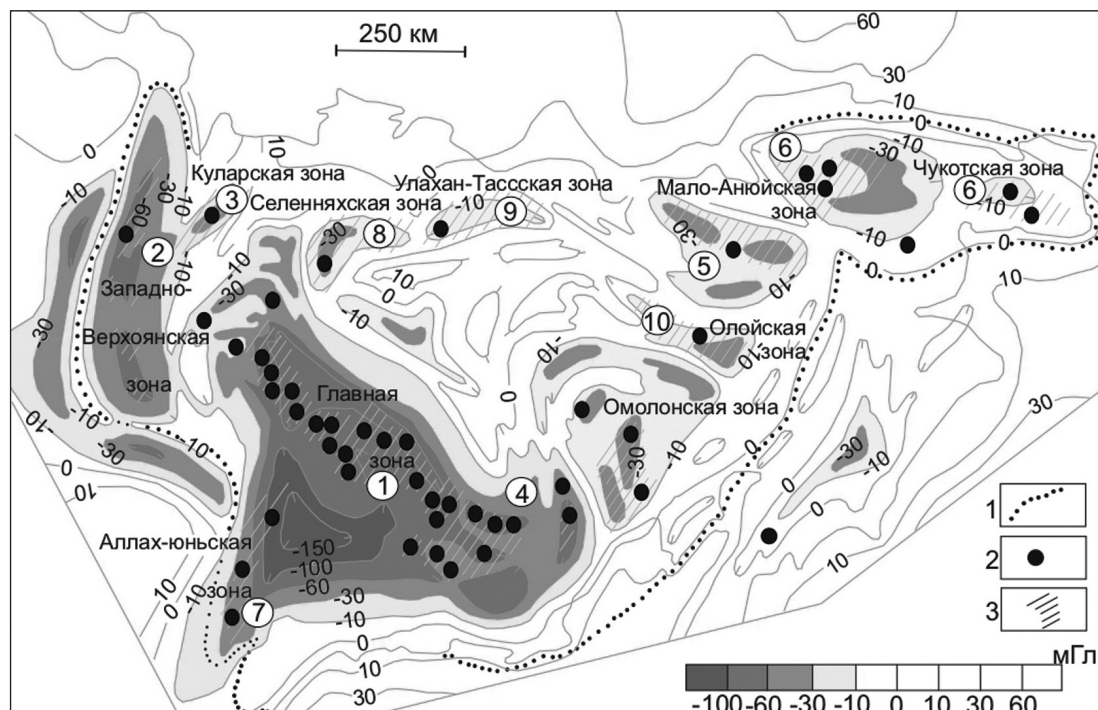


Рис. 2. Связь золотоносных зон и золоторудных месторождений с отрицательными аномалиями поля силы тяжести (составлена Н. И. Пронягиным).

1 – границы Верхояно-Чукотской мезозойской области деформаций; 2 – золоторудные месторождения; 3 – золотоносные зоны; 4 – цифры в кружках – наименование золотоносных зон: Главная зона (1), Западно-Верхоянская (2), Куларская (3), Балыгычанская (4), Малоануйская (5), Чукотская (6), Аллах-Юньская (7), Селенняхская (8), Улахан-Тасская (9), Олойская (10).

Fig. 2. Relation of gold-bearing zones and gold ore deposits with negative anomalies of the gravity field (compiled by N. I. Pronyagin).

1 – boundaries of the Verkhoyansk-Chukotka Mesozoic region of deformations; 2 – gold ore deposits; 3 – gold-bearing zones; 4 – circled figures are the names of the gold-bearing zones: Main zone (1), West Verkhoyansk (2), Kular (3), Balygychan (4), Maly Anyuy (5), Chukotka (6), Allakh-Yun (7), Selennyakh (8), Ulakhan-Tass (9), Oloy (10).

1958; Сосунов, 1982; Кашубин, 2018). Складчатость, осложняющая терригенные прогибы, является следствием внедрения больших масс перегретых магматических расплавов, поднявшихся из астеносферы с глубин от 100–200 км. Астеносферные магматические расплавы ультрамафитового состава локализуются в нижних частях прогибов земной коры, вызывая их расплавление с образованием вторичных кислых магм. Формирование пликативных структур происходит в результате механического воздействия на вмещающие породы магматических диапиров либо воздействием мигматитового фронта под давлением флюидалнодвигающихся штоков, грибообразных структур и др. (Сняткова, Пронягин, 2014). Существует несколько основных фактов, обосновывающих ультрамафитовый состав магмы в астеносферном бассейне. Большие объемы ультрамафитов задокументированы в строении океанической земной коры. По всему земному шару широко распространены включения образцов ультрамафитовых пород в базальтовых и кимберлитовых трубках. Предполагается, что они представляют основной материал

горизонтов верхней мантии (Куно, 1972), и, по мнению авторов, ультрамафитовый состав магмы астеносферного бассейна по химическому составу близок высокомагнезиальным вулканическим породам – перидотитовым коматиитам.

По характеру поля силы тяжести рассматриваются юго-западная и северо-восточная части Колымо-Чукотского пояса, являющиеся богатыми золотоносными районами (рис. 2). Региональный суперминимум гравитационного поля силы тяжести юго-западной части пояса характеризуется как наиболее прогнутая структура, в которой выделяется Яно-Колымский прогиб земной коры, контролирующей размещение Главной золотоносной зоны. Экстремальные значения поля силы тяжести над Яно-Колымским прогибом достигают -150 – -160 мГл. Несколько отличаются числа (-200 мГл) по данным карты аномального гравитационного поля России (Никольский, 1996). По площади, мощности и экстремальному значению поля силы тяжести Яно-Колымский прогиб является одним из крупных тектонических элементов в строении Северо-Востока России (рис. 1, 2). Такие же цифры – -200 мГл – на

блюдаются над складчатыми поясами подвижной области западного побережья Северной Америки (Gravity anomaly map of the United States, 1982) и над прогибом Скалистых гор (Альберта), который задокументирован на сейсмическом разрезе, пересекающем с запада на восток континент Северной Америки (рис. 3) (Closs, Behnke, 1961). По глубине залегания земной коры, положению границы Конрада и границы Мохоровичича Яно-Колымский прогиб сопоставим с прогибом Скалистых гор (Альберта). Значительный прогиб земной коры в районе Скалистых гор на сейсмическом разрезе единственный и так же, как уникальный Яно-Колымский прогиб, может рассматриваться одним из глубоких прогибов Земли. В верхней части разреза в Яно-Колымский прогиб вовлечены мощные 10–12-км терригенные формации (Сняtkов, 1958; Сосунов и др., 1982) и залегающие под ними предполагаемые мезозойские мигматиты (12 км), глубже под ними на глубине 64 км располагается подошва земной коры (Ващилов, 1993; Кашубин и др., 2018), на глубине 170–180 км залегает кровля астеносферы (Астеносфера и литосфера, 2003), которая авторами настоящей статьи интерпретируется как се-

рия магматических бассейнов. Исследования последних лет (интерпретация магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и аномалий поля силы тяжести) подтвердили существование полиастеносферы в строении горизонтов верхней мантии и осветили эту проблему комплексно для глубоких горизонтов Северо-Востока России (Астеносфера и литосфера, 2003). Согласно этим исследованиям, мощность литосферы Северо-Востока России уменьшается в направлении к Охотскому морю до 50–70 км и увеличивается до наибольших значений (170 км) в Эльгинском районе слабых дислокаций (центральная часть Яно-Колымского прогиба). Мощность литосферы в районе окраинной части Яно-Колымского прогиба под гранитоидами хребта Черского уменьшается до 65–80 км.

Вывод о наличии в нижней части разреза осадочных пород мигматитового фронта опирается на материалы о строении каледонского складчатого пояса Восточной Гренландии и материалов картирования мезозойских мигматитов, тел ультраосновных пород и интрузий чарнокит-мангеритового комплекса в зоне гранитоидов хребта Черского. На современном эрозионном

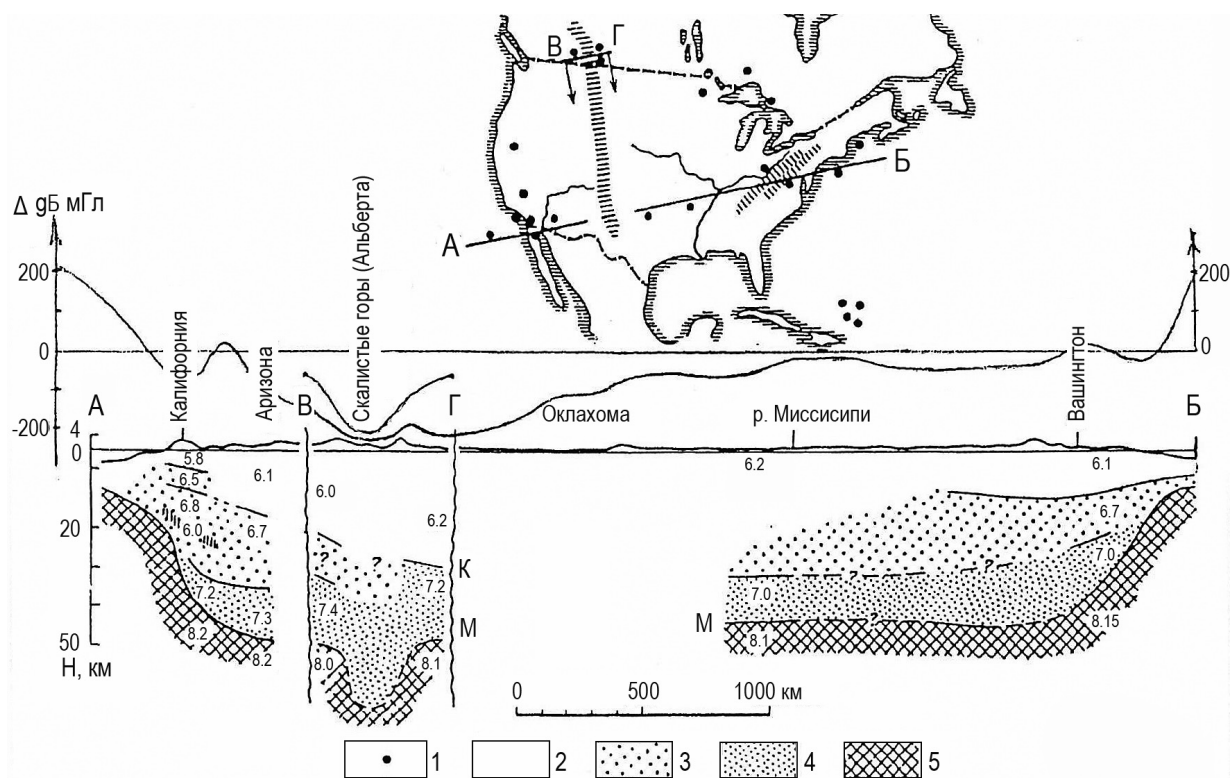


Рис. 3. Разрез коры в Северной Америке по результатам отдельных сейсмических измерений (Closs, Behnke, 1961).

1 – сейсмические пункты; 2 – осадки и гранитный слой; 3 – верхний базальтовый слой; 4 – нижний базальтовый слой; 5 – перидотитовый слой.

Fig. 3. Crust cross-section in North America based on the results of selected seismic measurements (Closs, Behnke, 1961).

1 – seismic stations; 2 – sediments and granite layer; 3 – upper basalt layer; 4 – lower basalt layer; 5 – peridotite layer.

срезе каледонского складчатого пояса вскрыты как слабо метаморфизованные осадочные отложения протерозоя и палеозоя, так и мощные мигматиты. В разрезах к Государственной геологической карте листа Р-55 (Шпикерман и др., 2016) показаны мигматизированные породы перми, триаса и нижней юры. Интересные данные получены для листа Р-56 в связи с тем, что к листу приложен обширный геофизический материал (геолого-геофизический разрез). На профиле показано очень высокое положение верхней границы гранито-гнейсового слоя (на глубинах менее 10 км), нехарактерное для областей деформации. Можно предположить, что часть слоя может быть отнесена к мезозойским мигматитам.

Расчет серии оценочных разрезов, выполненный Е. В. Рокотяном и интерпретируемый Н. И. Пронягиным, показал, что региональная составляющая гравитационного суперминимума в его экстремальной части, сопровождающей Яно-Колымский прогиб, не обеспечивается даже максимальной совместной мощностью осадочных толщ и подстилающих их мезозойских мигматитов (25 км). Анализ, построенный по спутниковым данным карты отклонения геоида от нормального сфероида, и последующая количественная интерпретация показали, что для соответствия наблюдаемой и расчетных кривых поля силы тяжести необходимо введение в разрез системы разнотолщинных объектов с отрицательной избыточной плотностью на глубинах 10 км (терригенные толщ), 30 км (мезозойские мигматиты), 40–50 км (граница Мохоровичича), 200 км (астеносферный магматический бассейн). Полученная модель согласуется с приведенной выше глубинной моделью. Таким образом, глубинная модель Яно-Колымского прогиба сопоставляется с типичной континентальной моделью земной коры, характерной для подвижных областей. Яно-Колымский прогиб отличается от остальных прогибов земной коры Колымо-Чукотского складчатого пояса, в том числе от Чукотского поднятия, максимальными показателями глубинности: прогиб фиксируется суперминимумом поля силы тяжести, отмечается наибольшая мощность терригенных толщ и максимальная мощность и глубина залегания земной коры и астеносферы.

По данным МТЗ, электропроводящий слой совпадает с положением главного волновода на глубинах 170–180 км. В пределах астеносферы отмечается резкое понижение удельного сопротивления до значения 100 Ом (Геологический..., 2010). По расчетам интервальных скоростей, полученных на основе средних по данным всех станций МОВЗ в регионе (Булин, 1989), верхняя мантия, по данным В. А. Лебедева, содержит слой, характеризующийся пониженной скоростью и плотностью на глубине 110–120 км,

меньшей, чем по данным гравиразведки и электроразведки (рис. 4). Этот слой имеет мощность 20 км. Кровля волновода со стороны Сибирской и Охотоморской платформ уступами погружается к центральной части Яно-Колымского прогиба от глубин 60–90 км до глубин 110–120 км; ниже, на глубинах 170–180 км, по оценочным гравиметрическим расчетам, возможно нахождение еще одного уровня пониженной плотности, что вполне согласуется с глубинами слоев в полиастеносферной модели верхней мантии по сейсмологическим данным (Тараканов, Левый, 1967). Изучение геофизических характеристик слоев пониженных скоростей в области современного магматизма Курильской и Японской вулканических дуг показывает, что в нижней части литосферной мантии низкоскоростные волноводы являются горизонтами ослабленной прочности и повышенной пластичности, в которых наблюдается более интенсивное поглощение поперечных канальных волн, дополнительно показывающих возможность существования здесь магматических расплавов. Опираясь на эти факты, авторы статьи пришли к выводу о наличии в нижней части литосферной мантии на глубинах 170–200 км первичного магматического бассейна ультрамафитовой магмы. Глубинные процессы, связанные с развитием магматического бассейна, проявляются в размещении в самой глубокой части Яно-Колымского прогиба эпицентров высокоэнергетичных землетрясений Лаптевско-Колымского пояса повышенной сейсмичности, которые, возможно, вызываются локальными обрушениями жесткой кровли астеносферных камер (Сняtkова, Пронягин, 2014). С глубинными процессами, по-видимому, также связано появление четвертичного вулкана Балаган-Тас в Момской впадине Зырянского прогиба (Сняtkов, 1959). Таким образом, региональный гравитационный суперминимум сформирован прогибом осадочных толщ (терригенный прогиб), согласующимся с прогибами земной коры большой мощности и прогибом астеносферы. Последняя служит местоположением магматического бассейна, являющегося, очевидно, причиной деформаций внешней оболочки Земли и распределения на поверхности эндогенного золота.

Характерной особенностью глубинных разрезов Чукотской складчатой зоны является значительно уменьшенная мощность осадочных толщ (4–8 км) (Сняtkов, 1958; Кашубин, 2018) и предполагаемых мигматитов (6 км) по сравнению с мощностями этих толщ в разрезе Яно-Колымского прогиба (25 км). Сокращение мощности осадочных пород сопоставляется с уменьшенной мощностью земной коры (данные опорного профиля 2-ДВ), и отмечается приближение к поверхности литосферной мантии в связи со значитель-

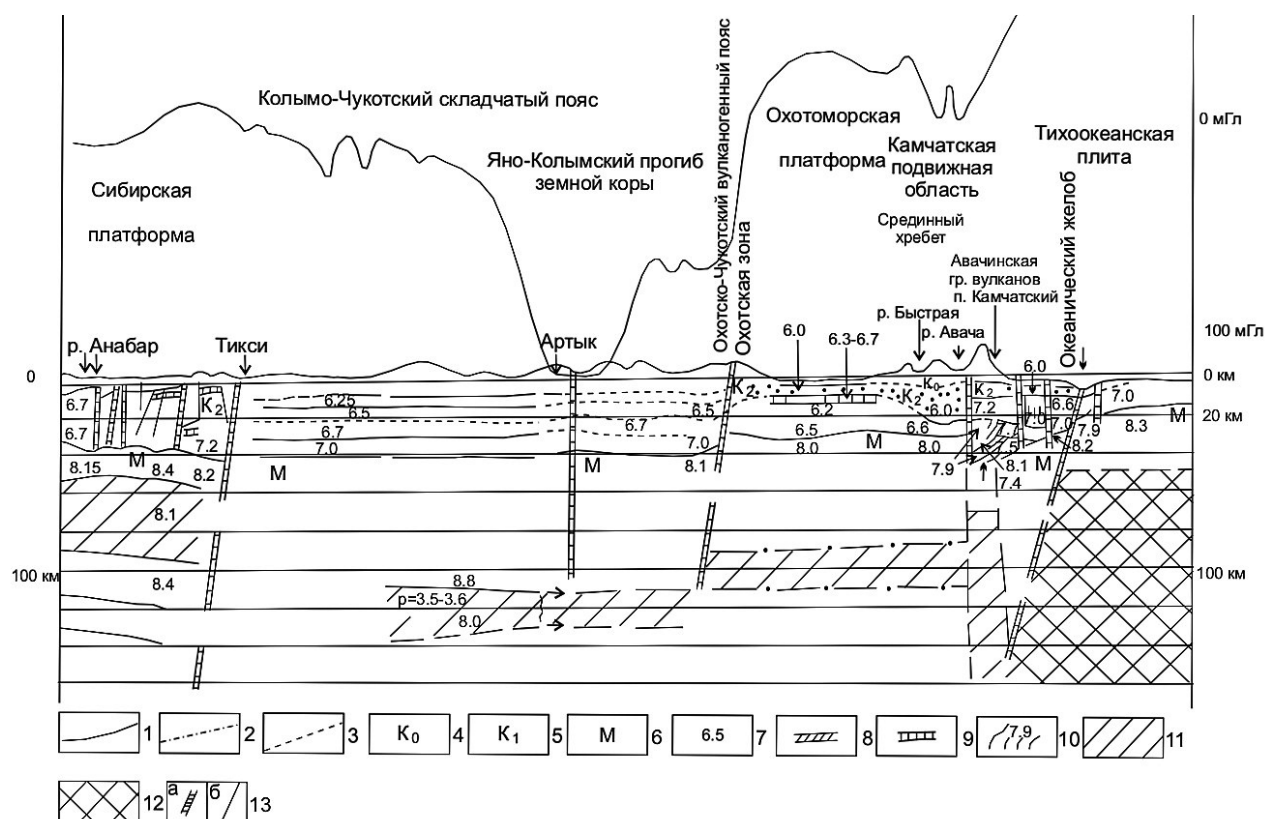


Рис. 4. Сводный сейсмический разрез земной коры и литосферной мантии Верхояно-Чукотской и Камчатской областей деформаций по линии Анабар–Тикси–Артык–Петропавловск–Камчатский (составлен П. А. Лебединым с дополнениями авторов).

Границы (1–6): 1 – сейсмические; 2 – по гравirazведке; 3 – предполагаемые; 4 – кровли консолидированной коры; 5 – Конрада; 6 – раздела коры – мантия (Мохо); 7 – пластовые скорости; 8, 9 – слои: пониженной (8) и повышенной (9) скорости; 10 – зона промежуточных скоростей V_p – 7.4–7.9 км/с со слоями инверсии V_p до 7.3–7.5 км/с – интерпретируется как породы базальтового слоя земной коры, продолжающиеся под тихоокеанские структуры; 11 – зона пониженных скоростей (до 7.3–7.5 км/с), аномального поглощения энергии волн, разуплотнения, аномальной проводимости – интерпретируется как область магнообразования; 12 – зона размещения магматических очагов в полиастеносфере Тихого океана; 13 – зоны разломов (а – мантийные, б – коровые).

Fig. 4. Consolidated seismic cross-section of the earth's crust and lithospheric mantle of the Verkhoyansk-Chukotka and Kamchatka regions of deformations along the Anabar–Tiksi–Artyk–Petropavlovsk–Kamchatsky line (compiled by P. A. Lebedkin with the authors' additions).

Boundaries (1–6): 1 – seismic; 2 – from gravity survey; 3 – assumed; 4 – of the consolidated crust roof; 5 – Conrad discontinuity; 6 – crust – mantle (Moho) discontinuity; 7 – bed velocities; 8, 9 – layers: of reduced (8) and increased velocities (9); 10 – zone of intermediate velocities V_p – 7.4–7.9 km/s with layers of inversion V_p to 7.3–7.5 km/s, interpreted as rocks of the earth's crust basalt layer continuing under Pacific Ocean structures; 11 – zone of reduced velocities (up to 7.3–7.5 km/s), anomalous absorption of wave energy, decompression, anomalous conductivity, interpreted as the region of magma formation; 12 – zone of magma chambers in the polyasthenosphere of the Pacific Ocean; 13 – fault zones (a – mantle, b – crustal).

ным подъемом к поверхности земной коры (граница Моховича располагается на глубине 30–40 км (Николаевский, 1964; Деменицкая, 1975; Кашубин и др., 2018)). Астеносферная аномалия под Чукотским поднятием либо имеет незначительную мощность, либо вырождается совсем (Никольский, 1995). Между структурой терригенных толщ и поднятием земной коры отмечается структурное несогласие, подтверждающееся данными на опорном профиле 2-ДВ (Симонов и др., 2003). Разрез Чукотских структур напоминает переходный тип земной коры от континента к океану, субконтинентальную

кору в отличие от Яно-Колымского прогиба, модель которого имеет типичную континентальную кору, характерную для подвижных областей. Существование отрицательной аномалии поля силы тяжести над Чукотскими структурами объясняется только наличием либо терригенного прогиба, либо антиклинорного поднятия², сложенного терригенными

² Вопрос о том, какую структуру в разрезе Чукотской модели составляют терригенные толщ, прогиб или антиклинорное поднятие, остается открытым. Авторы склоняются ко второму варианту, т. к. на площади Чукотской складчатой зоны задокументированы антиклинальные складки.

породами. Меньшая интенсивность отрицательных аномалий, чем Яно-Колымский суперминимум, объясняется подъемом к поверхности литосферной мантии.

Сравнение глубинных моделей позволяет добавить: от Центральной части Евразии к ее арктическим и тихоокеанским окраинам установлен общий тренд закономерного уменьшения мощности земной коры, но отмечены и локальные особенности рельефа подошвы земной коры (Кашубин и др., 2021). Такая же закономерность отмечается для площади Верхояно-Чукотской складчатой области от ее юго-западного прогиба к северо-восточному поднятию, и связано это с воздыманием к поверхности литосферной мантии, а глубокий прогиб юго-западной части следует рассматривать локальной особенностью рельефа подошвы земной коры.

Золотоносные зоны Колымо-Чукотского пояса в гравитационном поле локализуются в пределах отрицательных аномалий поля силы тяжести. Всего по числу аномалий выделяется десять золотоносных зон, включающих самую богатую Главную зону (рис. 2). На основании анализа разных глубинных моделей (Яно-Колымского прогиба и Чукотского поднятия) установлена высокая продуктивность глубоких горизонтов Главной золотоносной зоны, в которых возможно обнаружение богатых золоторудных месторождений, подобных месторождениям, открытым на площади Чукотской складчатой зоны. Установлена зависимость продуктивности золотоносных зон от интенсивности отрицательных аномалий поля силы тяжести – отмечается прямая зависимость продуктивности зон от мощности терригенных толщ и разной глубины залегания литосферной мантии. Первый вывод подтверждается тем, что в результате глубокого эрозионного среза структур Чукотского поднятия на его площади, очевидно, вскрыты глубокие разрезы терригенных толщ, в которых отмечаются неполные разрезы стратиграфических подразделений и обнажаются нижние части земной коры. Последние данные взяты из анализа опорных профилей 2-ДВ и 3-ДВ (Симонов и др., 2003; Полянский, Сальников и др., 2016; Кашубин и др., 2021). Главная зона целиком располагается в пределах Яно-Колымского прогиба земной коры, ее возникновение определяется сочетанием трех критериев: стратиграфического, магматогенного и структурно-геофизического. Зона приурочена к разрезу с максимальной мощностью терригенных формаций, сопряжена с самой протяженной цепью крупных интрузий гранитоидов хребта Черского и контролируется согласным прогибам земной коры и астеносферы, проявленном в экстремальных значениях гравитационного минимума. За-

кономерности размещения месторождений в зависимости от глубинных неоднородностей литосферы и особенностей рельефа поверхности Мохо, выполненные в южной части Дальнего Востока, привели к аналогичному выводу о связи положения месторождений с морфоструктурными элементами корово-мантийного раздела (Щеглов и др., 1996). Сформулируем вывод: под отрицательными аномалиями поля силы тяжести различной интенсивности, контролирующими положение золоторудных зон, отмечается не только разная мощность терригенных толщ, но и разные мощность и глубина залегания земной коры, разная глубина залегания астеносферных магматических бассейнов.

Важнейшим фактором прогнозирования золоторудных месторождений является глубина эрозионного среза структур. Закономерности изменения продуктивности рассмотрены для Главной золотоносной зоны в сравнении с Малоанюйской и Чукотской золотоносными зонами, в которых увеличенная глубина эрозионного среза структур вызывает сокращение количества экзогенных месторождений золота и появление новых формационных типов золоторудных месторождений. Впервые понятие о глубине эрозионного среза введено при изучении золоторудных месторождений, расположенных в разных тектонических структурах Северного Казахстана и Южного Урала.

В направлении от Яно-Колымского прогиба к Чукотскому поднятию наблюдается увеличение глубины эрозионного среза структур, вызванное приближением к поверхности глубинных границ раздела и нахождением Чукотских структур в районе поднятия к поверхности литосферной мантии. От Яно-Колымского региона к Чукотскому поднятию возрастает интенсивность поля силы тяжести, отмечается уменьшение мощности земной коры и поднятие к поверхности ее кровли. Отрицательные аномалии поля силы тяжести занимают различное положение на кривой Δg : в пределах более низких значений Δg размещается Яно-Колымский суперминимум (-200 мгл), среди высоких значений Δg находится отрицательная аномалия поля силы тяжести интенсивностью -50 мгл, отмечаемая над Чукотскими структурами. Таким образом, по геофизическим данным структуры Тихоокеанской окраины имеют более высокий уровень глубины среза. По геологическим данным увеличение относительной глубины эрозионного среза структур в районе Чукотского поднятия по сравнению с Яно-Колымским прогибом выражается в уменьшении площади Чукотских структур, уменьшением почти вдвое мощности осадочных пород и в появлении помимо мезозойских

отложений, в которых отмечены неполные разрезы стратиграфических подразделений (Сосунов и др., 1982), палеозойских и докембрийских пород. Сокращается количество гранитоидных интрузий, уменьшаются масштабы россыпной золотоносности и количество мезотермальных проявлений и месторождений золото-кварцевой формации. Наряду с массивами гранитоидов картируются массивы основных и ультраосновных пород и появляются особые формационные типы золоторудных месторождений: Каральвеемское, генетически связанное с дифференцированными телами базит-гипербазитов, и объемное золото-сульфидное Майское месторождение в дайковом поле интрузивно-купольной структуры (Волков и др., 2002). Особо следует отметить стратиформное золото-кварцевое месторождение Совиное, представляющее совокупность седловидных рудных тел. Месторождение было найдено на ранних этапах поисков коренных источников крупнейших россыпей района (Гончаров, Волков, 2000). Месторождение Совиное резко отличается от золото-кварцевых месторождений Главной золотоносной зоны значительным размахом оруденения по простиранию и на глубину, что указывает на потенциальное богатство глубоких частей разреза Яно-Колымского региона, в котором прогнозируется открытие месторождений типа седловидных золоторудных тел (Сняtkов, 1958).

Наименее эродированными в Колымо-Чукотском складчатом поясе являются включающие Главную золотоносную зону структуры Яно-Колымского прогиба земной коры. Из этого можно сделать вывод, что богатые россыпи Главной зоны при относительно неглубокой эрозии структур могли образоваться из очень богатых коренных источников. Это заключение согласуется с оценкой потенциальных запасов золота в мезотермальных золоторудных месторождениях Колымо-Чукотского пояса, выполненной на основе фактических данных по соотношению запасов золота в долинных россыпях и мезотермальных золоторудных месторождениях, из которых они образованы. Золотоносными узлами пояса, для которых получены коэффициенты золоторудности, являются Наталкинский коэффициент – 8.5, Павликовский – 2.6, Игуменовский – 7.7, Утинский – 3.4, Штурмовской – 3.5. В перечисленных узлах запасы золота в рудных месторождениях превышают запасы отработанных россыпей, и это отношение колеблется от 2.6 : 1 до 8.5 : 1 в пользу рудных месторождений. Таким образом, даже если принять наименьшее из этих чисел, общий минерагенический потенциал золота в мезотермальных золоторудных месторождениях Колымо-Чукотского пояса, судя по объемам отработанных россыпей, составляет не менее 6000 т.

К оценке минерагенического потенциала рудного золота Колымо-Чукотского складчатого пояса можно подойти и другим способом. В складчатом поясе общей площадью около 240 000 км² выделяются 5 условных золотоносных зон (рис. 2): Главная зона, находящаяся в бассейнах рр. Колыма, Индигирка, Яна (120 000 км²), Малоанюйская (60 000 км²), Чукотская (50 000 км²), Аллах-Юньская (5000 км²) и Куларская (4000 км²) зоны. Сопоставляя площади золотоносных провинций Калифорнии (США) и Виктории (Австралия)³, соответственно равные 56 000 км² и 64 750 км², с общей площадью золотоносных зон Колымо-Чукотского пояса, можно оценить ресурсы золота золотоносных зон пояса. В провинции Калифорния, имеющей площадь 56 000 км², из золоторудных месторождений было добыто около 1000 т золота. Площадь золотоносных зон Колымо-Чукотского пояса больше в 4 раза, следовательно, общий минерагенический потенциал золота оцениваются в 4000 т золота. Аналогичные расчеты по данным провинции Виктория дают 3600 т золота.

Анализ фактического материала по золотоносным зонам Колымо-Чукотского пояса позволяет сделать два вывода, важных для определения местоположения и запасов прогнозируемых золоторудных месторождений: 1. Коренные источники золота, питающие долинны россыпи, но не косовые россыпи, должны находиться или непосредственно в речных долинах, где локализуются россыпи, или на ближайших к ним склонах гор. 2. Запасы золота в коренных месторождениях в большинстве случаев прямо пропорциональны запасам золота в аллювиальных долинных россыпях, образовавшихся в результате денудации и эрозии.

Первый вывод отчетливо документируется следующими основными фактами: 1. В плотиках отработанных россыпей установлены золоторудные месторождения и важные золоторудные проявления: это месторождение Омчуг, отработанная кварцевая жила в плотике россыпи р. Челбанья, кварцевые жилы с видимым золотом в плотике россыпи р. Малый Ат-Юрях и другие. 2. Почти все открытые золоторудные месторождения в Колымо-Чукотском поясе могли быть найдены как находящиеся в плотиках россыпей, примерами являются месторождения Наталкинское, Павлик, Игуменовское, Утинское, Штурмовское и другие; по этому признаку на Чукотке могут быть открыты новые месторождения, по-

³ Факты взяты из анализа карты полезных ископаемых мира масштаба 1 : 15 000 000 (1972) и объяснительной записки к ней, в которой дана полная информация о строении и запасах крупных золотоносных провинций и крупных россыпных и рудных месторождений золота.

добные Каральвеемскому, – в плотике крупной аллювиальной россыпи золота в бассейне р. Кувет. 3. Большинство открытых небольших золоторудных месторождений и важных проявлений находятся на склонах гор или водоразделах рек и ручьев, в долинах которых отработаны россыпи. 4. В террасированных долинах россыпи в общем сохраняют свой характер и форму независимо от уровня, на котором они залегают; известны отработанные россыпи, перпендикулярные к направлению долины, и россыпи, ширина которых больше длины.

Второй вывод документируется величиной эрозионного среза золотоносных зон пояса, который, по многочисленным материалам, не может быть меньше 500 м. Этой величины вполне достаточно, чтобы россыпи могли отразить относительную величину размыва частей золоторудных месторождений и, следовательно, общую величину оставшихся их частей. Этот вывод хорошо подтверждается на примере детально разведанных золотоносных узлов, в которых наиболее крупные золоторудные месторождения сопровождаются и наиболее крупными аллювиальными россыпями. Следовательно, наиболее вероятными местами для открытия крупных золоторудных месторождений кварцевой формации будут золотоносные узлы, в которых отработаны наиболее крупные аллювиальные россыпи. К таким узлам в Колымо-Чукотском поясе относятся Хатыннах-Ат-Юрахский, Чай-Юрьинский и Мальдякский золотоносные узлы, находящиеся в Главной зоне пояса. Прогнозируемые месторождения, если исходить из сопоставления с крупными месторождениями в других провинциях, должны иметь среднее содержание золота не ниже 7–10 г/т и общие запасы не менее 100 т каждое.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главными результатами проведенных исследований, изложенных в статье, являются предложенные модели глубинного строения для юго-западной части Колымо-Чукотского пояса и для его северо-восточного окончания. Обе модели построены под отрицательными аномалиями поля силы тяжести разной интенсивности – -200 мГл и -50 мГл. Первая структурная глубинная модель представляет Яно-Колымский прогиб, который рассматривается одним из глубоких прогибов Земли, его подошва достигает кровлю нижней мантии. В строении прогиба участвуют три элемента: прогиб терригенных толщ, согласованный с прогибом земной коры и прогибом астеносферы. Главной особенностью Яно-Колымского прогиба является большая глубина залегания границы Мохо – 64 км. На опорном профиле 2-ДВ под интенсивной отрицательной

аномалией поля силы тяжести задокументирован большой разрыв границы Мохо (данные МОГТ) (Симонов и др., 2003). По мнению авторов статьи, следующее отражение получено от верхней мантии на глубине 60–70 км, т. е. глубокий прогиб земной коры подтвержден. Несмотря на то что Верхояно-Чукотская складчатая область занимает окраинное положение по отношению к океаническим платформам по глубине залегания земной коры (64 км), область сопоставима не с платформой (Кашубин и др., 2021), а с внутриконтинентальными складчатыми областями. Чукотское поднятие состоит из двух элементов: антиклинорного поднятия терригенных толщ и поднятия к поверхности земной коры. Структурная глубинная модель Чукотского поднятия характеризуется поднятием к поверхности литосферной мантии и несоответствием структурного плана верхнего складчатого этажа и кристаллического основания. Чукотская структурная модель, построенная по данным опубликованных работ периода 1964–1975 гг., в главных чертах совпадает с моделью, вытекающей из анализа данных по профилю 2-ДВ (Кашубин и др., 2018, 2021). Подтвержден и общий вывод, вытекающий из анализа глубинных моделей: положение раздела Мохо отражает приподнятую северо-восточную часть Колымо-Чукотского складчатого пояса и опущенную его юго-западную часть (Эринчек и др., 2007). Интересен вывод авторов о значительной глубине эрозионного среза структур Чукотского поднятия. Этот вывод не затронут в последних публикациях, хотя он позволил авторам статьи перейти к обсуждению прогнозов Главной золотоносной зоны и к выяснению причин разной продуктивности менее значимых золотоносных зон.

Наиболее дискуссионной явилась вторая половина статьи, посвященная прогнозу крупных мезотермальных месторождений золото-кварцевой формации. Результаты этого прогноза обсуждались на технических совещаниях Северо-Восточного геологического управления и на совещаниях региональных геологических управлений. Ниже приведем результаты дискуссии. Часть ведущих специалистов считала, что источниками богатых россыпей являются крупные золоторудные месторождения, на открытие которых должны быть направлены поиски: В. А. Цареградский, Ю. А. Билибин, Л. А. и Б. А. Снятковы, Ю. А. Кечек, Е. П. Данилогорский, В. Т. Матвиенко, Н. В. Хандожко, Н. В. Кистеров, А. И. Калинин, Ю. П. Карелин, Р. И. Кулаков. Другие исследователи пришли к выводу, что коренные источники россыпей не дают концентрированных месторождений, формируя поля рассеянной рудной золотоносности, см. (Шило, 1957). Высказана точка зрения, отвергающая воз-

возможность обнаружения крупных месторождений в плотиках россыпей либо вследствие миграции последних вниз по долинам рек (Б. И. Вронский, М. И. Коньчев, А. Х. Алискеров), либо по причине глубокой эрозии структур Яно-Колымского пояса. Появилась работа (Полеванов, 1990), в которой сделан вывод об автономном развитии золотороссыпных и золоторудных провинций мира. Авторы статьи серьезно относятся к обоснованию прогнозных данных Л. А. Сняtkова; ими в рамках научных исследований, проведенных в ВИРГе, был составлен новый проект на поиски крупного золоторудного месторождения в Чай-Юрьинском рудно-россыпном узле, который утвержден и отправлен в Магадан. Сущность проекта заключается в том, чтобы горизонтальными сечениями и сравнительно глубоким колонковым бурением изучить плотик россыпи под самой богатой ее частью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ глубинного строения Колымо-Чукотского складчатого пояса показывает, что главная роль в формировании структур принадлежит вертикальным движениям, которые обусловлены подъемом магмы из первичных астеносферных магматических бассейнов ультрамафитовой магмы. Для структур Верхояно-Чукотской складчатой области построены две глубинные модели, отражающие наличие в ее строении одного из глубоких прогибов Земли, достигающего нижней мантии (Яно-Колымский прогиб), и наличие значительного поднятия к поверхности литосферной мантии (Чукотское поднятие). На основе анализа глубинных моделей сделан вывод о возможности открытия на глубоких горизонтах Главной золотоносной зоны богатых золоторудных месторождений, аналогичных таковым на территории Чукотской складчатой зоны, и о зависимости продуктивности золотоносных зон от мощности терригенных толщ, мощности земной коры и глубины залегания литосферной мантии. Первый вывод подтверждается значительным эрозионным срезом структур Чукотского поднятия, в результате которого обнажаются нижние части разреза мезозойских терригенных толщ, где отмечаются неполные разрезы стратиграфических подразделений. От Яно-Колымского прогиба к Чукотскому поднятию устанавливается смена континентальной коры на субконтинентальную кору в связи с нахождением Чукотских структур в зоне сочленения Арктического и Тихоокеанского поднятия мантии. На основании рассчитанного коэффициента золоторудности определен минерогенический потенциал золота в мезотермальных золото-кварцевых месторождениях Колымо-Чукотского складчатого пояса; в

Колымском Центральном-Промышленном регионе не определено местоположение и запасы прогнозируемых золоторудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- Астеносфера и литосфера Северо-Востока России (структура, геокинематика, эволюция)* / [Науч. ред.: Ю. Я. Вашилов, А. В. Николаев]. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 195 с.
- Булин Н. К. Глубинное строение Верхояно-Чукотской складчатой области по сейсмическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 1. С. 77–85.
- Вашилов Ю. Я. Глубинная структура, геодинамика и геокинематика Северо-Востока России. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1993. 17 с.
- Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А. Промышленные типы рудных месторождений золота Северо-Востока России // Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология. Санкт-Петербург : ВНИИОкеангеология, 2002. 960 с.
- Геологический словарь / Гл. ред. О. В. Петров. Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2010. Т. 1. С. 74.
- Гончаров В. И., Волков А. В. Геология и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка). Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2000. 230 с.
- Деменицкая Р. М. Кора и мантия Земли. Москва : Недра, 1975. 256 с.
- Карта полезных ископаемых континентов мира. Масштаб 1 : 15 000 000 / Ред. П. И. Татаринов. Ленинград : ВСЕГЕИ, 1972.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Мильштейн Е. Д., Кудрявцев И. В., Андросов Е. А., Винокуров И. Ю., Тарасова О. А., Эринчек Ю. М. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения 2018. № 76. С. 9–30.
- Кашубин С. Н., Петров О. В., Шокальский С. П., Мильштейн Е. Д., Андросов Е. А., Винокуров И. Ю., Тарасова О. А. Глубинное строение земной коры Северо-Восточной Евразии и ее континентальных окраин // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12, № 2. С. 199–224. DOI: 10.5800/GT-2021-12-2-0521.
- Куно Х. Основные и ультраосновные включения в базальтах и природа верхней мантии // Науки о Земле. Т. 43. Земная кора и верхняя мантия. Москва : Мир, 1972. С. 448–455.
- Мелуа А. И. Геологи и инженеры России : Энциклопедия / Под ред. акад. Н. П. Лаврова. Москва ; Санкт-Петербург : Гуманистика, 2000. 532 с.
- Николаевский А. А. Современный рельеф поверхности Мохоровичича по геофизическим данным // Тектоника и глубинное строение Северо-Востока СССР. 1964. Вып. 11. С. 131–147.
- Никольский Ю. И., Демьянов Г. В., Назаров Н. Г., Таранов В. А. Карта аномального гравитационного поля России и прилегающих акваторий. Масштаб 1 : 10 000 000. Москва : Федеральная служба геодезии и картографии России, 1995.
- Полеванов В. П. Крупные золотороссыпные провинции и их роль в мировой золотодобыче. Москва : ВИЭМС, 1990. 88 с.

Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф., Жабин В. В. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (северо-западный участок) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 2 (30). С. 112–122.

Пронягин Н. И., Рокотян Е. В., Лебедин П. А. Отчет о научно-исследовательской работе «Геолого-геофизическое обоснование местоположения геотраверсов и глубоких (2–3 км) структурно-параметрических скважин на площадях главных золоторудных зон и районов Верхояно-Чукотской мезозойской подвижной области». Росгеолфонд. Москва, 1995.

Симонов А. П., Берзин Р. Г., Сулейманов А. К., Андрищенко Ю. Н., Прихода А. Г., Сальников А. С., Липилин А. В., Фельдман Л. Л. Новые данные о глубинном строении земной коры Северо-Востока России по опорному профилю 2-ДВ // Разведка и охрана недр. 2003. № 5. С. 27–31.

Снятков Л. А. Верхояно-Чукотская область деформации // Геологическое строение СССР. Т. 3. Тектоника. Москва : Госгеолтехиздат, 1958. С. 203–223.

Снятков Л. А. Об одном перспективном типе коренных месторождений золота Колымо-Чукотского пояса // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. 1958. № 13. С. 72–84.

Снятков Л. А. Тектоническая карта Северо-Востока СССР масштаба 1 : 5 000 000. Магадан : СВГУ, 1959.

Сняtkova О. Л., Пронягин Н. И. Неоматмогенная геотектоническая концепция строения и эволюции земной коры. Основные положения // Уральский геологический журнал. 2014. № 3 (99). С. 15–24.

Сосунов Г. М., Павлова О. К., Гельман М. Л. Геологическая карта Северо-Востока СССР. Масштаб

1 : 1 500 000. Таблицы региональной легенды. Магадан, 1982. 9 с.

Тараканов Р. З., Левый Н. В. Полиастеносферная модель верхней мантии Земли по сейсмологическим данным // Доклады АН СССР. 1967. Т. 176. № 3. С. 571–574.

Шило Н. А. Яно-Колымский пояс россыпной золотоносности и его положение на Северо-Востоке СССР // Труды ВНИИ-1. Геология. Магадан, 1957. Вып. 28. С. 44.

Шпикерман В. И., Полуботко В. И., Васькин А. Ф., Петухов В. В., Желебогло О. В., Лебедева О. Ю., Иванова Т. К., Котельникова И. В., Макар В. И., Казакова Г. Г., Шпикерман Е. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка. Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 520 с.

Щеглов А. Д., Кунаев И. В., Соловьев В. В., Рыжкова В. М. Глубинные неоднородности литосферы и металлогения южной части Дальнего Востока России // Доклады РАН. 1996. Т. 351. № 6. С. 810–813.

Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д., Егоркин А. В., Верба В. В. Строение раздела Мохо территории России и прилегающих акваторий // Модели земной коры и верхней мантии. Материалы Международного научно-практического семинара. Роснедра, ВСЕГЕИ. Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2007. С. 241–244.

Gravity anomaly map of the United States. Scale 1 : 2,500,000. Society of Exploration Geophysicists. 1982.

Closs H., Behnke Cl. Fortschritte der Anwendung seismischer Methoden in der Erforschung der Erdkruste // Geologische Rundschau. 1961. Bd. 51. H. 2.

Поступила в редакцию 10.11.2023.

Поступила после доработки 18.04.2024.

DEEP STRUCTURE OF RUSSIA'S NORTH-EAST: REGULARITIES IN ORE GOLD LOCATION AND PREDICTION

O. L. Snyatkova, N. I. Pronyagin

All-Russia Institute of Exploration Geophysics, St. Petersburg

The principal gold-bearing zone of the Kolyma-Chukotka fold belt is controlled by the Yana-Kolyma downfold of the earth's crust identified on the basis of gravity prospection data; it involves thick (25 km) terrigenous formations and their underlying migmatites as well as the lower layers of the earth's crust and asthenosphere. The Yana-Kolyma downfold is formed under the influence of the protogenic asthenospheric ultramafic magma chamber. According to the analysis of the most important ore-controlling factor (the thickness of the erosion cut), the structures of the deep Yana-Kolyma downfold are the least eroded, and, consequently, the rich placers of the principal gold bearing zone might have been formed from very rich gold motherlodes. This conclusion determines inferred resources in the principal zone and conforms with the calculated ratio of motherlode reserves exceeding placer reserves. The gold ore ratio of 2.6 is used for the prognostic evaluation of the ore gold mineragenic potential of the Kolyma-Chukotka fold belt, which makes 6 000 t.

Keywords: downfold, migmatites, asthenosphere, magma chamber, ratio of motherlode reserves, exceeding placer reserves.

REFERENCES

- Asthenosphere and Lithosphere of the North-East of Russia (Their Structure, Geologic Kinematics and Development)*, 2003. [Eds. Yu. Ya. Vashchilov, A. V. Nikolaev]. Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian].
- Bulin, N. K., 1989. Deep Structure of the Verkhoyansk-Chukotka Folded Region According to Seismic Data, *Russian Journal of Pacific Geology*. 1, 77–85 [In Russian].
- Closs, H., Behnke, Cl., 1961. Fortschritte der Anwendung seismischer Methoden in der Erforschung der Erdkruste, *Geologische Rundschau*. 51, 2 [In German].
- Demenitskaya, R. M., 1975. Crust and Mantle of the Earth. Moscow, Nedra [In Russian].
- Erinchek, Yu. M., Milstein, E. D., Yegorkin, A. V., Verba, V. V., 2007. Structure of the Moho Discontinuity of Russia's Territory and the Adjacent Waters, *Models of the Earth's Crust and the Upper Mantle. Proceedings of the International Scientific and Practical Seminar. Rosnedra, VSEGEI*. St. Petersburg, VSEGEI, 241–244 [In Russian].
- Geological Dictionary*, 2010. Chief Ed. O. V. Petrov. St. Petersburg, VSEGEI, 1, 74 [In Russian].
- Goncharov, V. I., Volkov, A. V., 2000. Geology and Genesis of Sovinoe Gold Ore Deposit (Chukotka). Magadan, NESC FEB RAS [In Russian].
- Gravity Anomaly Map of the United States*, 1982. Scale 1 : 2,500,000. Society of Exploration Geophysicists.
- Kashubin, S. N., Petrov, O. V., Milshtein, E. D., Kudryavtsev, I. V., Androssov, E. A., Vinokurov, I. Yu., Tarasova, O. A., Erinchek, Yu. M., 2018. Deep Structure of Earth's Crust and Upper Mantle in Northeastern Eurasia, *Regional Geology and Metallogeny*. 76, 9–30. [In Russian].
- Kashubin, S. N., Petrov, O. V., Shokalsky, S. P., Milshtein, E. D., Androssov, E. A., Vinokurov, I. Yu., Tarasova, O. A., 2021. Deep Crustal Structure in Northeastern Eurasia and Its Continental Margins, *Geodynamics & Tectonophysics*. 12 (2), 199–224. DOI: 10.5800/GT-2021-12-2-0521 [In Russian].
- Kuno, H., 1972. Basic and Ultramafic Inclusions in Basalts and the Nature of the Upper Mantle, *Earth Sciences. Vol. 43. The Earth's Crust and Upper Mantle*. Moscow, Mir, 448–455 [In Russian].
- Map of Mineral Resources in the Continents of the World*, 1972. Scale 1 : 15,000,000. Ed. P. I. Tatarinov. Leningrad, VSEGEI [In Russian].
- Melua, A. I., 2000. Geologists and Engineers of Russia : Encyclopedia. Ed. Acad. N. P. Laverov. Moscow ; St. Petersburg, Gumanistika [In Russian].
- Nikolayevsky, A. A., 1964. Modern Relief of the Moho Surface According to Geophysical Data, *Tectonics and Deep Structure of the USSR's North-East*. 11, 131–147 [In Russian].
- Nikolsky, Yu. I., Demyanov, G. V., Nazarov, N. G., Taranov, V. A., 1995. Map of the Anomalous Gravitational Field of Russia and of the Adjacent Waters, Scale 1 : 10,000,000. Moscow, Russia's Federal Service of Geodesy and Cartography [In Russian].
- Polevanov, V. P., 1990. Large Gold Placer Provinces and Their Role in the World Gold Mining. Moscow, VI-EMS [In Russian].
- Polyansky, P. O., Salnikov, A. S., Emanov, A. F., Zhabin, V. V., 2017. Head Wave Time Sections of the Upper Earth's Crust along the Survey Base Line 3-DV (Northwestern Block), *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2 (30), 112–122 [In Russian].
- Pronyagin, N. I., Rokotyan, E. V., Lebedkin, P. A., 1995. Report on the Research “Geological and Geophysical Substantiation of the Location of Geotraverses and Deep (2–3 km) Boreholes over the Main Gold Ore Zones and Areas of the Verkhoyano-Chukotka Mesozoic Mobile Region”. Rosgeolfond. Moscow.
- Shcheglov, A. D., Kunayev, I. V., Solovyov, V. V., Ryzhkova, V. M., 1996. Deep Inhomogeneities of the Lithosphere and Metallogeny of the Southern Part of Russia's Far East, *RAS Reports*. 351 (6), 810–813 [In Russian].
- Shilo, N. A., 1957. Yano-Kolyma Belt of Placer Gold Bearing and its Position in the North-East of the USSR, *Proceedings of VNII-1. Geology*. Magadan, 28, 44.
- Shpikerman, V. I., Polubotko, V. I., Vaskin, A. F., Petukhov, V. V., Zheleboglo, O. V., Lebedeva, O. Yu., Ivanova, T. K., Kotelnikova, I. V., Makar, V. I., Kazakova, G. G., Shpkerman, E. V., 2016. State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1 : 1,000,000 (Third Generation). Verkhoyansk-Kolyma Series. Sheet R-55 – Susuman. Explanatory Note. St. Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory [In Russian].
- Simonov, A. P., Berzin, R. G., Suleymanov, A. K., Andryushchenko, Y. N., Prikhoda, A. G., Salnikov, A. S., Lipilin, A. V., Feldman, L. L., 2003. New Data on the Deep Structure of the Earth's Crust in Russia's North-East by the 2-DV Reference Profile, *Exploration and Protection of the Subsoil*. Moscow, Nedra, 27–31 [In Russian].
- Snyatkov, L. A., 1958. On a Promising Type of Primary Gold Deposits in the Kolyma-Chukotka Belt, *Materials on Geology and Minerals of the USSR's North-East*. 13, 72–84 [In Russian].
- Snyatkov, L. A., 1959. Tectonic Map of the USSR's North-East, Scale of 1 : 5,000,000. Magadan, SVGU [In Russian].
- Snyatkov, L. A., 1958. Verkhoyansk-Chukotka Region of Deformation, *Geological Structure of the USSR. Vol. 3. Tectonics*. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 203–223 [In Russian].
- Snyatkova, O. L., Pronyagin, N. I., 2014. Neo-Magmatogene Geotectonic Concept of Earth's Crust Structure and Evolution. Fundamentals, *Uralian Geological Journal*. 3 (99), 15–24 [In Russian].
- Sosunov, G. M., Pavlova, O. K., Gelman, M. L., 1982. Geological Map of the USSR's North-East. Scale 1 : 1,500,000. Regional Legend Tables. Magadan [In Russian].
- Tarakanov, R. Z., Levy, N. V., 1967. Polyasthenospheric Model of the Earth's Upper Mantle according to Seismological Data, *Reports of AS USSR*. 176 (3), 571–574 [In Russian].
- Vashchilov, Yu. Ya., 1993. Deep Structure, Geodynamics, and Geokinematics of Russia's North-East. Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian].
- Volkov, A. V., Goncharov, V. I., Sidorov, A. A., 2002. Industrial Types of Gold Ore Deposits in Russia's North-East, *Russia's Arctic: Geological History, Minerageny, Geoecology*. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya [In Russian].