

Тектоника, структуры фундамента и минерагения ЮВ части Сибирской платформы по данным опорного профиля 3-ДВ Томмот–Хандыга

В. А. Гурьянов¹, А. Н. Диденко^{1,2}, Е. В. Нигай¹

¹Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, e-mail: guryanov_v@mail.ru

²Геологический институт РАН, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1

Поступила в редакцию 12.11.2024 г., принята к печати 12.02.2025 г.

Объект исследования. Юго-восточная часть Сибирской платформы вдоль полосы опорного геофизического профиля 3-ДВ Томмот–Хандыга. **Цель.** Анализ и интерпретация геологических, геофизических и геохронологических данных, в том числе собственных, с представлением детализированных материалов по тектонике и глубинному строению ЮВ части платформы. **Методы.** Использовался комплекс геолого-геофизических методов, в том числе интерпретация сейсмологических, гравиметрических, магнитометрических и петрофизических данных разномасштабных карт. **Результаты.** Получены принципиально новые данные по тектонике и глубинному строению кристаллического фундамента ЮВ части Сибирской платформы, вблизи полосы опорного профиля 3-ДВ Томмот–Хандыга. Предложена тектоническая схема его фундамента. Выделены крупные объекты в Лено-Алданской палеорифтовой зоне, интерпретируемые как протерозойские базит-гипербазитовые абиссолиты и щелочно-ультраосновные интрузивы. **Выводы.** Высокая степень комплексной геолого-геофизической изученности районов вблизи полосы опорного профиля 3-ДВ позволяет принять полученные результаты как определяющую рабочую гипотезу для последующих средне- и крупномасштабных геолого-прогнозных работ. Лено-Алданская палеорифтовая зона выделяется в ранге высокопродуктивной минерагенической провинции, перспективной на поиски месторождений никеля, меди, хрома, полиметаллов, золота, серебра, платины, алмазов, редких и редкоземельных металлов и является гомологом уникальной по своему рудному потенциалу провинции Трансвааль ЮАР.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Лено-Алданская палеорифтовая зона, Якутское сводовое поднятие, грабены, прогибы, впадины, абиссолиты, плюмовый магматизм, минерагения

Источник финансирования

Работа выполнена по темам НИР в рамках государственных заданий ИТиГ ДВО РАН “Закономерности формирования континентальной коры восточной окраины Евразии в неогее: тектоника, вещественный состав, минерагения и палеогеодинамика” (№ 122041100043-8) и “Геофизические поля и глубинное строение тектонически активных структур Восточной Азии, современная геодинамика и сейсмичность” (№ 122041100034-6) и теме НИР ГИН РАН (№ FMMG-2-23-0010)

Tectonics, basement structures, and minerageny of the southeastern Siberian Platform adjacent to the 3-DV Tommot–Khandyga profile

Valentin A. Guryanov¹, Aleksey N. Didenko^{1,2}, Elena V. Nigai¹

¹Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, 65 Kim-Yu-Chen st., Khabarovsk 680000, Russia

²Geological Institute, RAS, 7/1 Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia

Received 12.11.2024, accepted 12.02.2025

Research subject. The southeastern part of the Siberian Platform which is adjacent to the zone where the reference profile 3-DV Tommot–Khandyga runs. **Aim.** To analyze and interpret new and published geological, geochronological, and geophysical data, as well as presenting the most recent data on tectonics and deep structure of the large basement blocks of the southeastern Siberian Platform based on the new tectonic map of the Lena-Aldan rift zone. **Materials and methods.** Using geophysical techniques, a number of large features were identified under the sedimentary cover varying in thickness from

Для цитирования: Гурьянов В.А., Диденко А.Н., Нигай Е.В. (2025) Тектоника, структуры фундамента и минерагения ЮВ части Сибирской платформы по данным опорного профиля 3-ДВ Томмот–Хандыга. *Литосфера*, 25(6), 1264–1281. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-6-1264-1281>. EDN: PRJHNI

For citation: Guryanov V.A., Didenko A.N., Nigai E.V. (2025) Tectonics, basement structures, and minerageny of the southeastern Siberian Platform adjacent to the 3-DV Tommot–Khandyga profile. *Lithosphere (Russia)*, 25(6), 1264–1281. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-6-1264-1281>. EDN: PRJHNI

© В.А. Гурьянов, А.Н. Диденко, Е.В. Нигай, 2025

0.5 km to 3 km, which form the southern part of the extended Lena–Aldan paleorift zone and interpreted as giant stratified basite-hyperbasite abyssolites and alkaline-ultrabasic intrusives emplaced in the Proterozoic as a result of mantle plume magmatism. *Results.* Fundamentally new data were obtained on tectonics and deep structure of the crystalline basement in the southeastern part of the Siberian Platform within the zone of the 3-DV Tommot–Khandyga reference profile and the adjacent areas. A tectonic map of its basement is proposed. *Conclusions.* A high level of knowledge derived from comprehensive geological and geophysical studies within the 3-DV reference profile zone allows us to accept the obtained results and conclusions as a working hypothesis for further medium- and large-scale geological studies and prognostication. The Lena–Aldan rift zone is ranked as a highly productive mineragenic province indicating favorable potential for nickel, copper, chromium, platinum group metals, vanadium, rare earths, and rare metals, which makes it a homologue of the unique Transvaal province of South Africa in terms of its ore potential.

Keywords: *Siberian Platform, Lena–Aldan rift zone, Yakut arched uplift, grabens, troughs, basins, abyssolites, plume magmatism, minerageny*

Funding information

The work was carried out within the framework of the state assignments of the Institute of Geochemistry and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences “Regularities of the formation of the continental crust of the eastern margin of Eurasia in the Neogene: tectonics, material composition, minerageny and paleogeodynamics” (No. 122041100043-8) and “Geophysical fields and deep structure of tectonically active structures of East Asia, modern geodynamics and seismicity” (No. 122041100034-6) and the topics of research of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (No. FMMG-2-23-0010)

Acknowledgements

The authors express their appreciation to the anonymous reviewers, whose comments and suggestions considerably improved the quality of the submitted manuscript. We would like to thank M.G. Gershanovich and O.M. Menshikova for preparing the illustrative material.

ВВЕДЕНИЕ

В результате масштабных геолого-геофизических исследований ЮВ Сибирской платформы (СП) по изучению глубинного геологического строения и минерагенической специализации блоков земной коры сведения о глубинном строении, минерагении и геологической истории раннедокембрийской коры пополнились принципиально новой обширной информацией. В рамках программы МПР РФ “Создание опорных региональных геолого-геофизических профилей на территории РФ в ЮВ части СП и прилегающих складчатых областях” заложен опорный геолого-геофизический профиль 3-ДВ Сквородино–Томмот–Хандыга–Мякит. Профиль уникален по многообразию пересекаемых им крупных геологических структур, отражающих различные геодинамические обстановки формирования континентальной земной коры, от раннего докембрия до мезозоя включительно (Горошко и др., 2013; Диденко и др., 2016). ЮЗ участок этого профиля на отрезке Сквородино–Томмот охарактеризован ранее (Шевченко и др., 2011; Диденко и др., 2013). Настоящая работа охватывает центральную часть профиля 3-ДВ отрезка Томмот–Хандыга. Он пересекает Нимнырский, Суннагинский и Якутский блоки фундамента ЮВ СП. Объектом исследований является фундамент ЮВ Сибирской платформы на границе с Верхояно-Колымским орогенным поясом (рис. 1). Большая часть его перекрыта осадочным чехлом мощностью от 0.5 до 2–3 км и более и недоступ-

на для изучения прямыми геологическими методами. Раннедокембрийские образования крайне неравномерно охарактеризованы по данным бурения (Тектоника..., 2001; Розен и др., 2002; Розен, 2003, 2014; Смелов и др., 2012). Проведенные исследования с использованием современных геофизических методов позволили существенно уточнить глубинную структуру фундамента, выделить новые тектонические структуры и провести более детальное, в отличие от предыдущих (Гафаров и др., 1978; Тектоника..., 2001; Смелов и др., 2001; Смелов, Тимофеев, 2003; Розен, 2003, 2014; Глебовицкий и др., 2008; Глуховский, 2009), тектоническое районирование фундамента ЮВ части СП, что являлось первой задачей настоящей работы.

Как известно, докембрийская история, охватывающая 87% геологического развития Земли, определяет и важнейшие глобальные закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на континентах. Более 75% площади современных континентов имеют кору докембрийского возраста, возникшую в результате неогархейских и палеопротерозойских орогенических событий (Мишнин и др., 2002; Розен, 2003; Smelov, Timofeev, 2007; Смелов и др., 2010, 2013). Статистические данные по минерально-сырьевым ресурсам мира показывают, что в докембрийских структурах сосредоточено 80% мировых запасов железных руд, около 80% хрома, 60% меди, 70% сульфидного никеля, более 80% золота и кобальта, 50% запасов урана и большая часть запасов РГЕ (Мишнин и др., 1987, 2002; Глубинное строение..., 2010). Главный



Рис. 1. Обзорная тектоническая схема района исследований.

1 – область осадочных отложений Сибирской платформы, 2 – Алдано-Становой щит, 3 – Селенга-Становая орогенная область, 4 – Центрально-Азиатский тектонический пояс, 5 – Монголо-Охотский орогенный пояс, 6 – Верхояно-Колымская складчатая область, 7 – Сихотэ-Алинская складчатая область, 8 – фрагмент Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, 9 – линия профиля 3-ДВ, 10 – площадь исследований.

Fig. 1. Schematic tectonic map showing the study area.

1 – sedimentary deposits of the Siberian Platform, 2 – Aldan-Stanovoy shield, 3 – Selenga-Stanovoy orogenic belt, 4 – Central Asian orogenic belt, 5 – Mongol-Okhotsk orogenic belt, 6 – Verkhoyansk-Kolyma fold area, 7 – Sikhote-Alin fold area, 8 – fragment of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt, 9 – 3-DV profile, 10 – study area boundary.

прирост запасов руд металлов (Pt, Pd, Au, Cu, Co, Ni, Cr, V, Pb, Zn) и неметаллов (алмазы, графит, асбест, мусковит, флогопит) в последние десятилетия был получен за счет открытия и освоения новых месторождений в докембрийских блоках (Глубинное строение..., 2010). Месторождения таких типов и уровня широко известны на западе и в цен-

тре СП (Тектоника..., 2001; Розен, 2003; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2006; Смелов и др., 2013; Малышев и др., 2014). В то же время сведений о наличии месторождений и рудопроявлений в перекрытых осадочным чехлом докембрийских структурах ЮВ Сибирской платформы практически нет, в связи с чем изучение минерагии блоков фундамен-

та, их глубинного строения представляет не только теоретический, но и практический интерес, что является второй задачей наших исследований.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Сибирская платформа – одна из крупнейших геологических структур регионального ранга Северной Евразии со сложной и длительной историей развития. Раннедокембрийскую континентальную кору, образующую фундамент платформы, принято рассматривать в качестве Северо-Азиатского кратона, по Ю.А. Косыгину (1983). Его становление, как и других древних кратонов мира, большинство исследователей связывают с процессами палеопротерозойского тектоногенеза, при котором произошла амальгамация тектонических областей (Тектоника..., 2001; Прокопьев и др., 2003; Смелов, Тимофеев, 2003; Розен, 2003; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2005, 2006; Розен, 2014). Формирование отдельных фрагментов раннедокембрийской коры, слагающей фундамент платформы, их зарождение, эволюция, объединение, преобразование и кратонизация охватывают период от 3.5 до 1.7 млрд лет (Котов, 2003; Гурьянов, 2007; Глебовицкий и др., 2008; Гурьянов и др., 2013, 2016). Основная часть фундамента перекрыта мезо-, неопротерозойскими и фанерозойскими осадочными образованиями. В связи с этим тектоническое районирование фундамента СП проводится преимущественно по региональным геофизическим данным, результатам исследования коровых ксенолитов из кимберлитов и метаморфических пород из глубоких скважин и их сопоставления с таковыми обнаженных частей фундамента.

В последние десятилетия получено значительное количество данных по изотопной систематике пород погребенного фундамента (Nutman et al., 1992; Pearson, 1999; Ковач и др., 2000; Тектоника..., 2001; Котов, 2003; Кузьмин и др., 2005; Smelov, Timofeev, 2007; Гурьянов и др., 2012; Розен, 2014), позволяющих судить о возрасте, этапах формирования, а также составить на основе интерпретации геофизических материалов тектонические схемы фундамента СП. Наиболее представительная информация по породам фундамента имеется для северной, центральной и западной частей СП, где проведено глубокое бурение и построены временные и глубинные разрезы по региональным сейсмическим профилям. Установлено, что на открытых территориях Алданского геоблока Nd модельный возраст наиболее древних гранитогнейсов, по данным А.Б. Котова (2003), оценивается в пределах 3.8–3.5 млрд лет, возраст цирконов из них – 3335 ± 3 млн лет (Nutman et al., 1992). Re-Os модельный возраст литосферных перидотитов из трубки Удачная составляет 3.8 млрд лет (Pearson, 1999), а результаты изучения включений сульфидов в алмазах этой

трубки (Специус и др., 2004) указывают на мезоархейский возраст мантии (3.0–2.8 млрд лет) и стабилизацию значительной части фундамента СП в раннепалеопротерозойское время. Для фундамента ЮВ части платформы такая информация крайне редка (Смелов и др., 2001; Смелов, Тимофеев, 2003) или почти отсутствует. Поэтому строение и состав ее фундамента охарактеризованы нами по материалам площадной грави- и магнитометрии, сейсмо- и электроразведки, глубокого бурения (учтено 25 колонковых скважин) (Мишнин и др., 1987, 2002; Карта..., 2000; Тектоника..., 2001; Мишнин, Истомин, 2002, 2010; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2005, 2006; Округин и др., 2010; Малышев и др., 2014; Диденко и др., 2016).

В настоящее время имеется значительное количество тектонических схем фундамента СП, составленных на основе геолого-геофизических материалов (Гафаров и др., 1978; Карта..., 2000; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2005; Глебовицкий и др., 2008; Малышев и др., 2014; и др.). В последние годы большую популярность получила тектоническая схема О.М. Розена (2003, 2014). Вместе с тем границы раннедокембрийских блоков и их тектоническая сущность, наполнение и минерагения изучены недостаточно и не всегда находят свое отражение на этих схемах. Ведущую роль по изучению фундамента и глубинного строения земной коры для ЮВ части СП сыграли данные комплексных исследований вдоль опорного геолого-геофизического профиля 3-ДВ на участке Томмот–Хандыга (Горошко и др., 2013; Диденко и др., 2016).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе, в профильном варианте, с изучением “глубинных корней” тектонических структур, по Ю.А. Косыгину (1983), решались вопросы, связанные со статическим классом моделей, с последующей их комплексной интерпретацией. Плотные разрезы созданы на основе методик послойного сейсмогравитационного 2D и гравитационного 3D моделирования (Li, Oldenburg, 1998). Структурные модели, основанные на результатах метода МОВ-ОГТ, получены с применением пакета программ линеamentного анализа изображений (Zlatopolsky, 1997). После построения однофакторных моделей выполнена их комплексная интерпретация и сформирована в едином нижнем полупространстве наиболее вероятная структурно-геофизическая модель, отвечающая распределению измеренных геофизических полей и петрофизическим характеристикам горных пород в приповерхностном слое земной коры. Геологическое истолкование физико-геологической модели (конечная цель) – это определение вероятного вещественного состава не выходящих на земную поверхность фи-

зических тел и их тектоническая принадлежность. Так, в частности, по данным плотностного моделирования, в междуречье Лены и Алдана выделяется тело высокой плотности ($>2.95 \text{ г/см}^3$), апофизы которого выходят под платформенный чехол (Горошко и др., 2013). Для установления характера распределения зон разломов привлечены космические снимки (радарная съемка) с последующей обработкой результатов МОВ-ОГТ (программа LESSA). Все это позволило составить структурно-геофизическую модель земной коры и провести комплексную геолого-геофизическую интер-

претацию (рис. 2). Геологические комплексы разного возраста и генезиса, слагающие перечисленные выше структуры и образования, представлены на линии комплексного геолого-геофизического разреза земной коры (см. рис. 2б) в полосе профиля 3-ДВ. По этой же линии построена структурно-геофизическая модель земной коры, основанная на результатах статистической обработки данных МОВ-ОГТ (см. рис. 2а). Методические приемы исследований наиболее полно рассмотрены в работах (Шевченко и др., 2011; Горошко и др., 2013; Диденко и др., 2013).

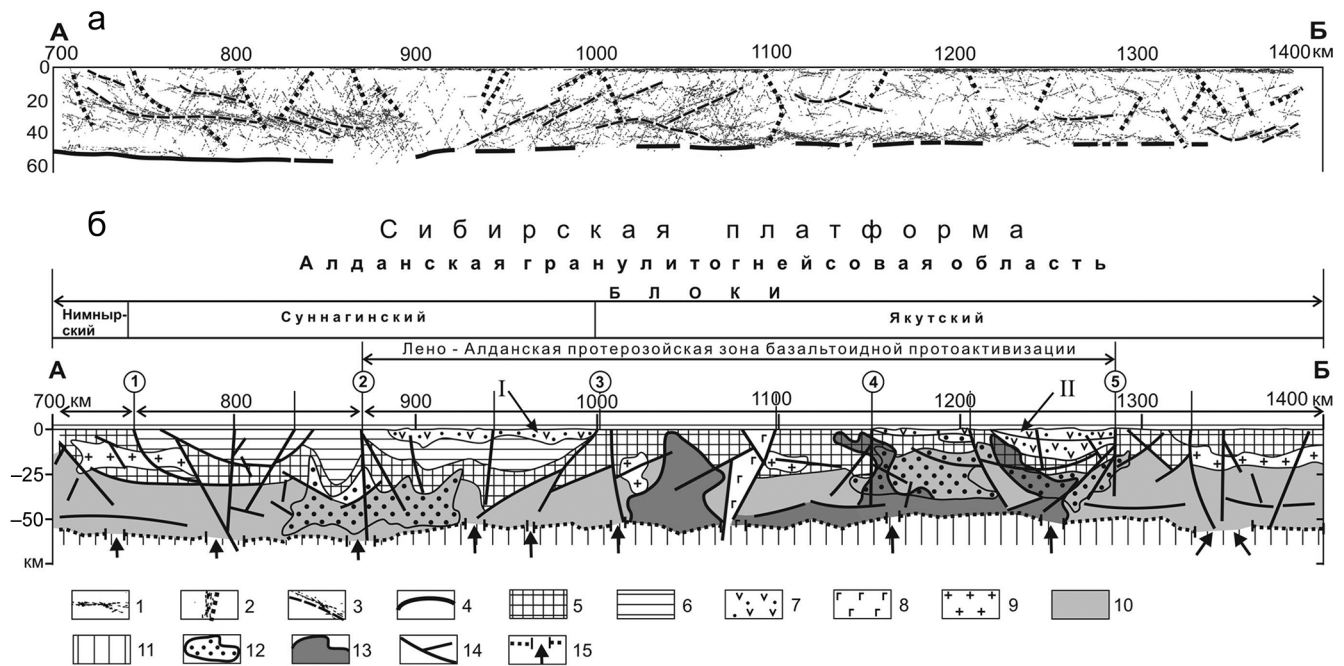


Рис. 2. Геофизический профиль земной коры (а) и комплексная геолого-геофизическая модель земной коры (б) по линии Томмот–Хандыга, по материалам (Горошко и др., 2013; Диденко и др., 2016).

1 – линеаменты, выделенные по исходным отражающим площадкам МОВ-ОГТ; 2 – субвертикальные разломы; 3 – субгоризонтальные и наклонные разломы; 4 – граница Мохоровичича по данным ГСЗ; 5 – гранулитогнейсы палеоархейских Нимнырского и Якутского блоков; 6 – гранулит-базиты неоархейского Суннагинского блока; 7 – палеопротерозойские вулканогенно-осадочные образования эпикратонных прогибов: I – Кетеминский грабен, II – Борогонский прогиб; 8 – палеопротерозойские габбро-долериты; 9 – предполагаемые субгоризонтальные тела автохтонных гранитоидов; 10 – глубинные гранулиты; 11 – породы верхней мантии; 12 – области интенсивной тектоно-термальной проработки пород коры с высокой электрической проводимостью; 13 – крупные интрузивные тела мафит-ультрамафитов и областей с плотностью пород $>2.95 \text{ кг/м}^3$; 14 – главные разломы (цифры в кружках): 1 – Тыркандинский, 2 – Карбычанский, 3 – Буатомиинский, 4 – Суольский, 5 – Ноторский; 15 – граница Мохоровичича по данным ГСЗ с предполагаемыми “мантийными окнами” и направлениями флюидных потоков.

Fig. 2. Geophysical profile (a) and comprehensive geological-geophysical model of the earth's crust (b) along the Tommot-Khandyga line, after (Goroshko et al., 2013; Didenko et al., 2016).

1 – lineaments identified by the original reflecting segments of the common depth point seismic reflection survey; 2 – tectonic boundaries: vertical and 3 – subhorizontal; 4 – Moho discontinuity from deep seismic sounding data; 5 – granulite gneisses of the Paleoproterozoic Nimnyrsky and Yakutsky blocks; 6 – granulite-basites Neoproterozoic Sunnaginsky block; 7 – Paleoproterozoic volcanogenic-sedimentary rocks of epicratonic troughs: I – Keteminsky graben, II – Borogonsky trough; 8 – Paleoproterozoic gabbro-dolerites; 9 – inferred subhorizontal bodies of autochthonous granitoids; 10 – deep granulites; 11 – upper mantle rocks; 12 – areas of intense tectonothermal transformation of crustal rocks (areas of high electrical conductivity); 13 – large intrusives of mafic-ultramafic rocks, areas with rock density $>2.95 \text{ kg/m}^3$; 14 – major faults: 1 – Tyrkandinsky, 2 – Karbychansky, 3 – Buatominsky, 4 – Suolsky, 5 – Notorsky (circled numbers); 15 – the base of the earth's crust (Moho surface) with “mantle windows” and inferred directions of fluid movements.

Глубинная структура исследуемой территории установлена на основании комплекса геолого-геофизических методов, в площадном и профильных вариантах. В основу положены результаты сейсмических (МОВ-ОГТ, ГСЗ, КМПВ, МТЗ) и геоэлектрических (МТЗ) исследований, привлечены данные геологических карт нового поколения, космические снимки (радарная съемка). Для работы с пакетами интерпретационных программ применялись цифровые модели потенциальных полей (гравитационное, магнитное), петрофизические данные и учтены результаты предыдущих исследователей по определению мощности земной коры и подошвы литосферы (Тектоника..., 2001). Недостаток вещественной информации частично компенсирован результатами интерпретации региональных геофизических материалов, уровень которых для отдельных территорий достаточно высок. Структурно-геофизические модели земной коры в сочетании с вещественными характеристиками пород фундамента ЮВ СП (кern скважин, экстраполяция данных с обнаженных фрагментов докембрийских структур) послужили основанием для составления новой тектонической схемы фундамента ЮВ части СП. На ней выделены крупные и более мелкие блоки фундамента, зоны активизации и другие элементы (рис. 3). Строение и состав фундамента охарактеризованы нами по материалам площадной гравитационной и магнитометрии, сейсмо- и электроразведки, глубокого бурения; учтены результаты нескольких скважин колонкового бурения (Мишнин и др., 1987, Карта..., 2000; Тектоника..., 2001; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2006; Мишнин и др., 2010; Округин и др., 2010; Диденко и др., 2016). Для геологического и тектонического обоснования глубинных построений на территории исследований составлены сводная геологическая карта м-ба 1:1 000 000, тектоническая карта того же масштаба, построенная на структурно-формационной основе и схеме тектонического районирования с элементами глубинного строения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Этап формирования сплошного осадочного чехла юго-восточной части СП отделен от этапа оформления морфоструктуры кровли консолидированной коры длительным континентальным перерывом и мощной структурной перестройкой (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Гурьянов и др., 2012). Эта перестройка носила не только тектонический, но и орогенический (горообразующий) характер, с которой связано завершение наиболее мощного в докембрии палеопротерозойского (эпикарельского) орогенеза. Исходя из сказанного, в качестве главных структурных подразделений донеопротерозойского фундамента выделены обширные изометричные архейские и па-

леопротерозойские тектонические блоки, сформировавшиеся при обрушении и опускании кровли кристаллического фундамента грабены, прогибы, мульды и впадины. С этим связано наиболее интенсивное дробление консолидированной коры на разнообразные по форме и размеру блоки и также базит-гипербазитовый и щелочно-ультраосновной магматизм палеопротерозойского (Горошко и др., 2013; Гурьянов и др., 2016, 2022, 2023) и неопротерозойского (Зайцев и др., 1992, 2010; Горошко, Гурьянов, 2004, 2008) этапов. В качестве главных структурных подразделений фундамента выделены обширные изометричные архейские и палеопротерозойские тектонические блоки, сформировавшиеся при обрушении и опускании кровли кристаллического фундамента. Интенсивное дробление консолидированной коры, разломообразование, мощный магматизм привели к формированию крупных и более мелких блоков земной коры в палеопротерозое (Гурьянов, 2007; Гурьянов и др., 2023) и неопротерозое (Зайцев и др., 1992, 2010; Горошко и др., 2004, 2008). Возраст магматизма принимается аналогичным возрасту подобных интрузий в Батомгском (Котов, 2003; Государственная..., 2014; Гурьянов и др., 2016), Нимнырском (Котов, 2003; Государственная..., 2014), Джугджурском (Гурьянов и др., 2012, 2023) и других блоках восточной части Алданского щита (Ковач и др., 2000; Смелов и др., 2001, 2013; Котов, 2003; Глебовицкий и др., 2008) и Охотского микроконтинента (Кузьмин и др., 2005). В среднем палеозое в ЮВ части СП проявился и кимберлитовый магматизм (Алтухова, 2010а, б; Зайцев и др., 2010; Мишнин и др., 2010).

В тектоническом плане фундамент ЮВ СП включает в себя крупные структуры I порядка (террейны): Якутское сводовое поднятие и его реликтовые частные выступы (в целом Якутский блок), северный, южный и восточный склоны Алданского щита (Нимнырский, Суннагинский, Синский, Батомгский и Майский блоки); структуры II порядка: южная ветвь протяженной Лено-Алданской рифтовой зоны базальтоидной протеоактивизации и четыре эпикратонных вулканогенно-осадочных структурных элемента палеопротерозойского возраста, а также Юдомо-Майская, Нюрбинская, Верхояно-Колымская и Нижнеалданская зоны тектонической активизации (см. рис. 3) (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Горошко и др., 2013). С этих позиций схема строения кристаллического фундамента региона обосновывается, исходя из анализа гравитационного и магнитного полей ЮВ СП (Мишнин и др., 1987; Карта..., 2000; Смелов и др., 2001; Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Истомин и др., 2004; Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2005; Малышев и др., 2014). Структуру низкочастотной составляющей гравитационного поля определяют Алданский, Верхояно-Колымский минимумы и Якутский максимум, которые в плане

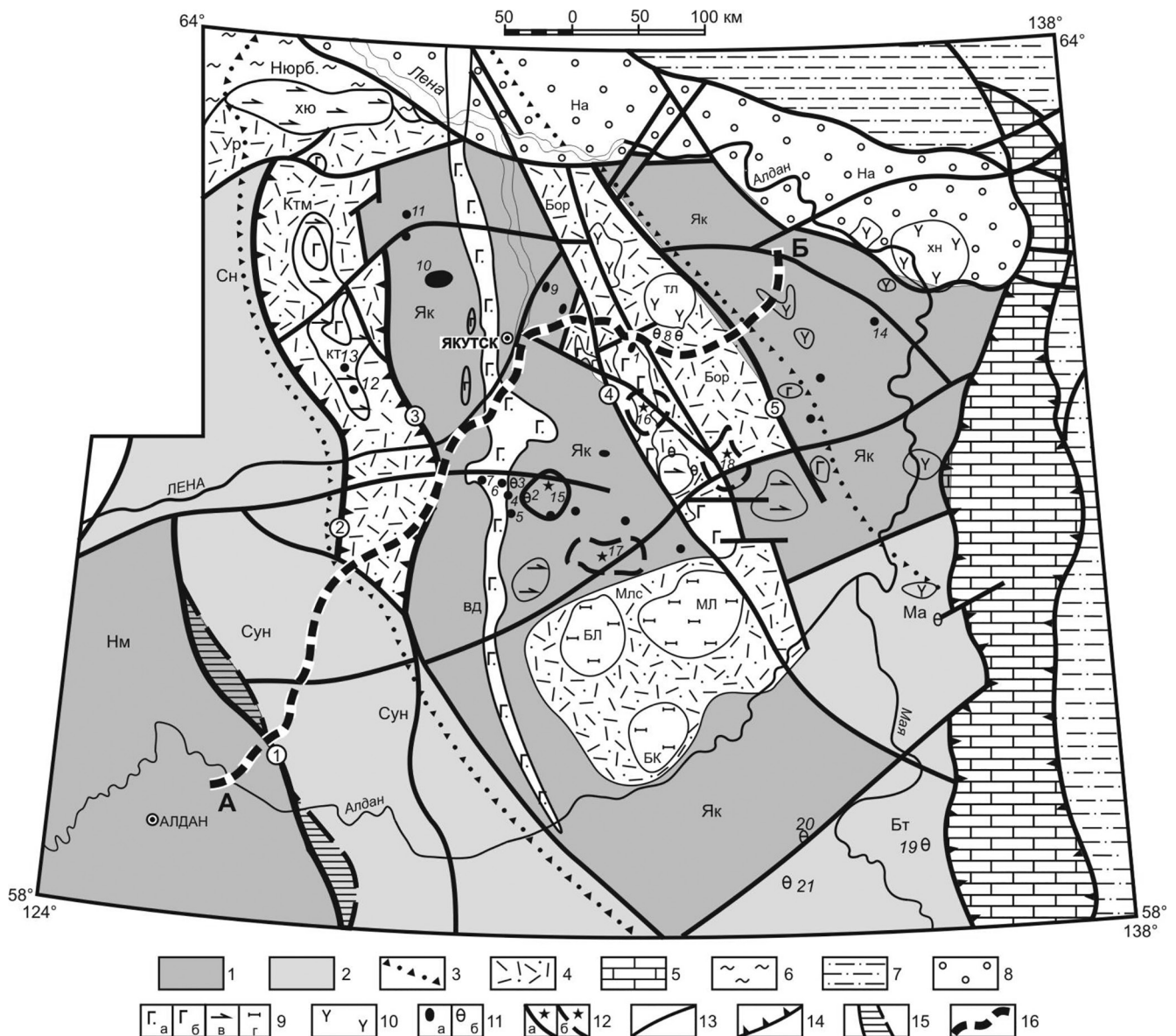


Рис. 3. Главнейшие структуры фундамента юго-восточной части Сибирской платформы с прогнозируемыми кимберлитовыми полями (тектоническая схема), по материалам (Мишнин и др., 2002; Истомина, Мишнин, 2004; Горошко и др., 2013).

1 – палеоархейские блоки фундамента: Нимный (Нм), Якутский (Як); 2 – неоархейские Суннагинский (Сун) и Синский (Сн) и палеопротерозойские Майский (Ма) и Батомский (Бт) блоки фундамента; 3 – границы Лено-Алданской рифтовой зоны палеопротерозойской базальтоидной протоактивизации; 4 – палеопротерозойские эпикратонные вулканогенно-осадочные структуры: Борогонский прогиб (Бор), Кетеминский грабен (Ктм), Уордахская впадина (Ур), Мильская мульда (Млс); 5–8 – структуры активизации фундамента: 5 – неопротерозой-палеозойская Юдомо-Майская зона (ЮМ), 6 – среднепалеозойская Нюрбинская (Нюрб), 7 – позднеюрско-раннемеловая Верхояно-Колымская область (ВК), 8 – позднемезозой-кайнозойская Нижнеалданская (На); 9 – интрузивы, выделенные по геофизическим данным: а – долериты (Великая Дайка Якутии (ВД)), б – габбро, в – анортозиты, г – расслоенные базит-гиперпербазитовые абиссолиты (Хатынг-Юрхянский (ХЮ), Кетеминский (КТ), Биселеминский (БЛ), Мильский (МЛ), Белькачинский (БК)); 10 – расслоенные нефелин-сиенитовые массивы: Толонский (ТЛ), Хандыгский (ХН); 11 – щелочно-ультраосновные комплексы: а – нерасчлененные (1 – Молойский, 4 – Северо-Дьянгильский, 5 – Тенгютейский, 6 – Западно-Дьянгильский, 7 – Кедигейский, 8 – Северо-Моролойский, 9 – Сотгинский, 10 – Чакыйский, 11 – Аччугыйский, 12 – Кетеминский, 13 – Дугдинский, 14 – Танхайский, 20 – Нижнеаймский, 21 – Среднеомнинский), б – с нефелин-сиенитовой оторочкой (2 – Мендский, 3 – Южно-Дьянгильский, 19 – Ингилийский); 12 – кимберлитовые поля: а – установленное (15 – Хомпу-Майское поле с трубой Манчары), б – прогнозируемые (16 – Барылайское, 17 – Борулахское, 18 – Амгинское); 13 – разломы (главные разломы показаны цифрами в кружочках и соответствуют таковым на рис. 2); 14 – участки разломных систем с надвиговой составляющей; 15 – проекция на поверхность плоскости сместителя блоков земной коры; 16 – линия профиля 3-ДВ.

Fig. 3. The main basement structures of the southeastern Siberian Platform with predicted kimberlite fields (tectonic map), after (Mishnin et al., 2002; Istomin, Mishnin, 2004; Goroshko et al., 2013).

1 – Paleoproterozoic basement blocks: Nimnyrsky (Нм), Yakutsky (ЯК); 2 – Neoproterozoic Sunnaginsky (Сун) and Sinsky (Сн) and Paleoproterozoic Maysky (Ма) and Batomgsky (Бт) blocks of the basement; 3 – boundaries of the Lena-Aldan rift zone of the Paleoproterozoic basaltic protoactivation; 4 – Paleoproterozoic epicratonic volcanogenic-sedimentary structures: Borogonsky trough (Бор), Keteminsky graben (Ктм), Wardakh basin (Ур), Milskaya trough (Млс); 5–8 – basement activation structures: 5 – Neoproterozoic-Paleozoic Yudoma-Mayskaya zone (ЮМ), 6 – Middle Paleozoic Nyurbinskaya (Нурб) area, 7 – Late Jurassic-Early Cretaceous Verkhoysk-Kolyma area (ВК); 8 – Late Mesozoic-Cenozoic Nizhnealdansky area (На); 9 – intrusions identified by geophysical data: а – dolerites: Great Dyke of Yakutia (ВД), б – gabbro, в – anorthosites, г – layered basite-hyperbasite abyssolites: Khatyng-Yuryakhsy (ХЮ), Keteminsky (КТ), Bieleminsky (БЛ), Milsky (МЛ), Belkachinsky (БК); 10 – layered nepheline-syenite massifs: Tolonsky (ТЛ), Khandygsky (ХН); 11 – alkaline-ultrabasic complexes: а – undifferentiated (1 – Moloisky, 4 – Severo-Dyangylsky, 5 – Tengyuteysky, 6 – Zapadno-Dyangylsky, 7 – Kedigeysky, 8 – Severo-Moroloysky, 9 – Sottinsky, 10 – Chakyysky, 11 – Achchygyysky, 12 – Keteminsky, 13 – Dugdinsky, 14 – Tangkhaisky, 20 – Nizhneaimsky, 21 – Sredneomninsky), б – with nepheline syenite rims (2 – Mendsky, 3 – Yuzhno-Dyangylsky, 19 – Ingiliysky); 12 – kimberlite fields: а – identified (15 – Khompu-Mayskoe, with the Manchaary pipe), б – predicted (16 – Barylaiskoe, 17 – Borulakhscoe, 18 – Amginskoe); 13 – faults; 14 – sections of fault systems with a thrust component; 15 – surface projection of the fault plane; 16 – 3-DV survey line.

соответствуют Алданскому сегменту щита, Верхояно-Колымской орогенной области и Якутскому гранулит-базитовому погребенному поднятию (Мишнин и др., 2002; А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005).

На своде Якутского погребенного поднятия и в его окрестностях, под осадочным чехлом ограниченной мощности на глубинах от 0.5 до 2–3 км, по геофизическим данным (Истомин, Мишнин, 2004), в зоне структурного влияния “Великой дайки Якутии” протяженного Лено-Алданского пояса выделено около двух десятков малых кольцевых щелочно-ультраосновных интрузивов и серия предполагаемых рудоносных базит-гипербазитовых абиссолитов (Мишнин и др., 1987, 2002, 2010; Истомин, Мишнин, 2004). В платформенном чехле поясу соответствует позднепротерозойско-кембрийский рифовый комплекс, с которым могут быть связаны стратиформные месторождения свинца и цинка. Барьерный риф на протяжении длительного времени отделял Ангаро-Ленский солеродный мелководный бассейн осадконакопления от Юдомо-Оленёкского глубоководного бассейна (Мишнин и др., 1987; Гриненко и др., 1995). Рифу в фундаменте соответствует проникающий глубоко в мантию региональный Якутско-Жиганский разлом, заложение которого произошло в палеопротерозое. По всей вероятности, к этому периоду приурочено внедрение крупных базит-гипербазитовых интрузий, трассирующих разлом, а также формирование сопряженных с ними мульд, впадин, прогибов и грабенов (Мишнин и др., 1987, 2002, 2010; Мишнин, Истомин, 2002). Все эти структурные элементы перекрыты разновозрастными (мезо- и неопротерозой, кембрий, средний палеозой, мезозой и кайнозой) осадочными толщами сплошного платформенного чехла мощностью от первых сотен метров до 3 км и более (Государственная..., 2014). Кроме того, в пределах Лено-Алданской зоны располагаются одна известная и три прогнозируемых “трубки” кимберлитов (Розен и др., 2002; Мишнин и др., 2010; Смелов и др., 2010, 2012).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Кристаллический фундамент СП

На тектонической схеме (см. рис. 3) фундамент ЮВ СП представлен палеоархейскими Нимнырским и Якутским, неоархейскими Суннагинским, Синским и раннепалеопротерозойскими Батомгским и Майским блоками (террейнами). Прямых изотопно-геохронологических данных о возрасте пород, слагающих эти блоки, кроме Батомгского и Нимнырского, здесь нет. Возраст их принят по аналогии с таковыми для смежных территорий, исходя из анализа имеющихся геологических данных (Горошко и др., 2013; Государственная..., 2014). Основными критериями выделения межблоковых разломов являются протяженные зоны повышенных горизонтальных градиентов поля силы тяжести (гравитационные ступени) и линейные гравитационные минимумы (Истомин, Мишнин, 2004; Шевченко и др., 2011).

Нимнырский блок в значительной мере перекрыт чехлом. Структурный план его, судя по характеру гравитационного поля (Истомин, Мишнин, 2004; А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005; Малышев и др., 2014) и геологическим данным (Горошко и др., 2013; Государственная..., 2014), определяется широким развитием гранитогнейсовых куполов. Ядра куполов сложены гранитогнейсами, эндербито- и чарнокито-гнейсами древнеалданского комплекса. Выделяемая здесь верхнеалданская серия представлена преимущественно гиперстеновыми, двупироксеновыми кристаллическими сланцами и гнейсами, высокоглиноземистыми гранатсиллиманитовыми, пироксеновыми и амфиболовыми гнейсами и кристаллосланцами с линзами пиритов и плагиоэклогитов (Ковач и др., 2000; Смелов и др., 2001; Смелов, Тимофеев, 2003; Котов, 2003; Глуховский, 2009). Модельные Nd возраста древнеалданских гранитоидов Нимнырского блока составляют 3.0–3.1 млрд лет, $E_{ND}(T) = -10.3...-11.4$ (Котов, 2003). По Sm-Nd изотопным характе-

ристикам гранитоиды восточной его части распадаются на две подгруппы. Величины $T_{Nd}(DM)$ первой подгруппы гранитоидов изменяются от 2.9 до 3.0 млрд лет при $T_{Nd}(DM-2st) = 3.0-3.1$ млрд лет и $E_{Nd}(T) = -7.5...-8.5$. По мнению А.Б. Котова (2003), их формирование связано с плавлением корового источника не моложе 2.8 млрд лет или с плавлением смешанного источника архейского и раннепротерозойского возраста. Тогда как гранитоиды второй подгруппы из этой части блока характеризуются $T_{Nd}(DM-2st) = 2.4-2.5$ млрд лет и $E_{Nd}(T) = -2.0...-2.2$, а родоначальные для них расплавы образованы при плавлении корового источника раннепротерозойского возраста с незначительной добавкой архейского корового материала.

Якутский блок характеризуется мозаичной сложнодифференцированной структурой гравитационного поля, состоящего из множества локальных аномалий разного знака (Смелов и др., 2001; Мишнин, Истомин, 2002; А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005). В плане он выражен относительным максимумом овално-полигональной конфигурации размером $(450-500) \times (350-400)$ км (Горошко и др., 2013). Для границ блока характерно типичное полосовое расположение локальных аномалий. Согласно (Мишнин и др., 2002, 2010; Истомин, Мишнин, 2004), непосредственно под чехлом здесь расположен гранулитовый слой, характеризующийся средней пластовой скоростью сейсмических волн 6.6 км/с при средней плотности пород слоя 2.85 г/см³.

В северной части Якутского блока выделяется отчетливо выраженный в рельефе кристаллического фундамента и структуре нижних горизонтов чехла свод. В плане он выражен максимумом силы тяжести овално-полигональной конфигурации размером 150×300 км². Относительно крутые северный и восточный склоны свода имеют амплитуду до 5–6 км, а амплитуда южного пологого склона не превышает 1 км. Судя по разрезам осадочного чехла (Тектоника..., 2001), составленным по керну скважин, поднятие фундамента завершилось в среднем палеозое. Сам же блок разделен Якутско-Жиганской зоной глубинного разлома на две неравные части (см. рис. 3). Характерной и отличительной его особенностью является высокая степень насыщенности контрастными “магнито- и гравитирующими объектами” (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005). Кристаллический фундамент представляет собой чередование гранулитов основного, среднего и кислого состава с преобладанием базит-ультрабазитовых интрузивов в нижней части коры (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 1998, 2005, 2006; Смелов и др., 2001, 2013; Смелов, Тимофеев, 2003). Их возраст принят нами за палеоархейский по аналогии с возрастом гранулитов Тюнгского, Анабарского и других блоков, близких по структуре гравитационных полей и геофизическим параметрам (Тектоника..., 2001; Мишнин и др., 2002; Розен и др., 2002; Розен, 2003, 2014).

др., 2002; Розен, 2003, 2014). В пределах Якутского блока кристаллический фундамент вскрыт несколькими скважинами (Тектоника..., 2001). Установлено, что в скважине у пос. Тяхтор в интервале глубин 589.6–600.0 м керн представлен мигматизированными амфиболовыми кристаллосланцами (Истомин, Мишнин, 2004).

Следует отметить, что Якутский блок фундамента также контролирует положение палеопротерозойских эпикратонных вулканогенно-осадочных структур (Борогонского прогиба, Мильской мульды) и размещение базит-гипербазитовых абиссолитов, нефелин-сиенитовых массивов, щелочно-ультраосновных интрузивов и трубок кимберлитов (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002) (см. рис. 3). В керне из пяти скважин, вскрывших кимберлиты трубки Манчаары (100 км к югу от г. Якутск), установлены обломки осадочных пород с включениями серпентинитов, слюдитов и ксенолитов двупироксеновых кристаллических сланцев (Алтухова, 2010а, б). Средневзвешенный возраст ксеногенного циркона из кимберлитов этой трубки составил 2540 ± 34 млн лет (Смелов и др., 2013). Геохимические и изотопные данные по циркону позволяют предполагать, что здесь в составе фундамента существенная роль принадлежит породам гранитоидного состава, подвергшимся 2.54 млрд лет назад процессам метаморфизма и метасоматоза. Между тем Rb-Sr возраст самих кимберлитов трубки Манчаары составляет 358 ± 42 млн лет (Зайцев и др., 1992, Смелов и др., 2013).

Суннагинский блок, в отличие от охарактеризованных выше блоков, имеет несколько иной стиль структуры гравитационного поля. Здесь преобладает линейное СЗ расположение локальных аномалий (Смелов и др., 2001; А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005). В плане блоку соответствует отрицательная гравитационная аномалия. Блок ограничен долгоживущими трансрегиональными разломами СЗ простирания (см. рис. 3), которые представлены зонами смятия, меланжа, динамотермального метаморфизма (Тектоника..., 2001). В составе супракраустальных толщ блока доминируют основные кристаллосланцы и гнейсы, гранат-биотитовые гнейсы с прослоями известняков, доломитов и кварцитов. Инфракомплекс сложен эндербитогнейсами. Региональные гравитационные отрицательные аномалии с амплитудами до 15 мГал и размерами в поперечнике до 100 км интерпретируются нами как гранитогнейсовые купола. Метаморфизм пород блока достигал условий гранулитовой фации. Возраст их неархейский – 2.7–2.5 млрд лет (Ковач и др., 2000; Котов, 2003), как утверждено в легендах листов ГКК-1000 (Гурьянов и др., 2012; Государственная..., 2014).

Синский блок (см. рис. 3) выделен по гравиметрическим данным в бассейне нижнего течения р. Синяя. В гравитационном поле для него харак-

терно сочетание аномалий как изометричного, так и линейного типа. Уровень региональной составляющей магнитного поля Синского блока понижен, что обусловлено проявлением вторичного низкотемпературного преобразования гранулитов (Карта..., 2000). Линейные магнитные максимумы приурочены к разломам и связаны с магнетитсодержащими породами зон диафореза (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005). Блок имеет в плане клиновидную форму. С запада и востока он ограничен пологонаклоненными в разные стороны разломами, а с юга – субвертикальным дизъюнктивом. Возраст пород и вещественное наполнение Синского блока условно приняты по аналогии с таковыми Суннагинского блока.

Батомгский блок расположен южнее Якутского блока (см. рис. 3) и выделяется по смене типов геофизических полей, в частности по субмеридиональному направлению простираения магнитных аномалий (Карта..., 2000; Государственная..., 2014). Северная часть блока покрыта осадочными образованиями платформенного чехла. Южнее, за пределами района исследований, в междуречье Учюра и Батомги, раннедокембрийские метаморфические породы слагают выступ кристаллического фундамента, где они представлены разнообразными гнейсами, претерпевшими метаморфизм амфиболитовой фации, с прослоями кристаллосланцев, мраморов и амфиболитов батомгской серии (Горошко, Гурьянов, 2008; Гурьянов и др., 2016). По А.Б. Котову (2003), T_{Nd} (ДМ) метаморфических пород Батомгского выступа оценивается в 2.1–2.3 млрд лет, а прорывающих их гранитоидов – в 2.0–2.2 млрд лет (Гурьянов и др., 2016). Нами установлено, что U-Pb возраст цирконов (SHRIMP-II) из гранитоидов хоюндинского и джагдаканского комплексов, инъецирующих породы батомгской серии, составляет 2.06–2.05 млрд лет (Гурьянов и др., 2016). На юге выступа все они с размывом и корами выветривания перекрываются осадочно-вулканогенной улканской серией возрастом 1.76–1.73 млрд лет (U-Pb метод по циркону, SHRIMP-II) (Гурьянов, 2007). Исходя из сказанного, возраст пород Батомгского блока нами предложено считать раннепалеопротерозойским (Гурьянов и др., 2016), а не раннеархейским, как считалось ранее (Nutman et al., 1992; Pearson, 1999; Смелов и др., 2001; Тектоника..., 2001; Розен, 2014).

Майский блок расположен на ЮВ района исследований (см. рис. 3). По аналогии с Батомгским для пород Майского блока нами предполагается раннепалеопротерозойский возраст, хотя возраст аналогичных по составу гнейсов в истоках р. Маи оценивается как неоархейский – 2615 ± 11 млн лет (SHRIMP-RG, U-Pb метод, циркон) (Прокопьев и др., 2003).

Фанерозойские структурные элементы тектонической активизации фундамента ЮВ части СП представлены Нюрбинской, Верхояно-Ко-

лымской, Юдомо-Майской и Нижнеалданской зонами (см. рис. 3). Необходимость выделения тектонических элементов подобного типа отмечали многие исследователи. Одни из них (Смелов и др., 2001) выделяли таковые как зоны тектонического меланжа. Другие (Розен и др., 2002) рассматривали их в ранге коллизионных зон. Такие зоны представляют собой линейные участки земной коры, “сложенные разнообразными бластомилонитами и катаклазитами, нередко мигматитами, автохтонными гранитоидами, отторженцами экзотических магматических и метавулканогенно-осадочных пород, которые претерпели совместные структурно-метаморфические преобразования” (Розен и др., 2002; Розен, 2003). Они отчетливо прослеживаются под чехлом на значительные расстояния, поскольку характеризуются выдержанными отрицательными аномалиями линейного типа в поле силы тяжести и отличаются от сопредельных площадей относительно интенсивным знакопеременным линейным магнитным полем (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 1998, 2005). Юдомо-Майская и Нюрбинская зоны тектонической активизации трассируются протяженными роями даек долеритов и габбро-долеритов (Гайдук, 1988; Тектоника..., 2001). В пределах зон они выделены в ранге региональных дайковых поясов – Улахан-Бамского (Горошко и др., 2013; Государственная..., 2014) и Чаро-Синского (Гайдук, 1988) соответственно. Основные ареалы их распространения находятся за пределами района исследования на северо-западе и востоке. Верхояно-Колымской зоне тектонической активизации (см. рис. 3) “на схеме низкочастотной составляющей гравитационного поля соответствует одноименный региональный минимум, а аномальное магнитное поле ее слабоинтенсивное” (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005).

Нюрбинская зона тектонической и базальтоидной активизации фундамента характеризуется пониженными значениями силы тяжести. Чаро-Синский дайковый пояс в этой зоне представлен своим СВ флангом протяженностью 400 км (Гайдук, 1988). Основная масса даек, не выходящих на дневную поверхность, хорошо прослеживается на крупномасштабных аэромагнитных картах в виде контрастных положительных аномалий линейного типа ВСВ простираения (Карта..., 2000). Мощность даек, обнажающихся на дневной поверхности, не превышает 50–60 м, но в фундаменте (на глубине), по расчетным данным, она достигает 500 м. Протяженность даек от 100–200 м до 50 км (Гайдук, 1988). Большинство дайковых тел являются подводящими каналами трещинного типа для многочисленных потоков среднепалеозойских базальтов Вилюйской палеорифтовой структуры.

Юдомо-Майская зона тектонической и базальтоидной активизации фундамента характеризуется субмеридиональным простираением локальных

аномалий, дискордантных по границам ее гравитационного поля по отношению к полям Якутского блока и Верхояно-Колымской зоны (Истомин, Мишнин, 2004; А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2006; Диденко и др., 2016). Ограничения Юдомо-Майской зоны представлены двумя субмеридиональными разломами центриклинального падения (см. рис. 3). Здесь дайковый пояс, включая Улахано-Бамский комплекс даек и силлов, прослеживается в меридиональном направлении по простиранию одноименного рифтогенного прогиба на 700 км (Тектоника..., 2001). Протяженность даек на дневной поверхности от 100 м до 5–60 км при мощности от нескольких м до 200 м. На среднемасштабных аэромагнитных картах они прослеживаются в виде протяженных линейных максимумов меридионального простирания. Изотопный возраст даек и силлов долеритов, габбро-долеритов, габбро и базальтов от (1005 ± 4) – (942 ± 19) (Sm-Nd и U-Pb) до 790–660 (Rb-Sr, K-Ar) млн лет (Тектоника..., 2001).

Нижнеалданская зона тектонической активизации (см. рис. 3) в гравитационном поле характеризуется линейно-вытянутой формой и наличием гравитационного минимума (Тектоника..., 2001). Внутреннее строение ее фиксируется как отрицательная полосовая аномалия в виде цепочки линейных минимумов щелевидного типа, осложненных изометричными аномалиями и оконтуренными с обеих сторон узкими линейными максимумами (А.Г. Стогний, В.В. Стогний, 2005).

Лено-Алданская палеорифтовая зона базальтоидного магматизма

Эта протяженная структура (см. рис. 3) прослеживается по карте аномального магнитного поля (Карта..., 2000; Истомин, Мишнин, 2004) под осадочным чехлом в ССЗ направлении от южной границы Якутского блока фундамента до Анабарского щита на севере (Мишнин и др., 1987, 2002). По условиям обнаженности она принадлежит к числу закрытых площадей, недоступных для прямого изучения. Скважинами под юрскими отложениями вскрыты реликты триасовых и палеозойских осадочных пород, а также метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы “улканского” типа, залегающие на архейских гнейсах (Мишнин и др., 2002; Розен и др., 2002; Гурьянов, 2007).

В состав Лено-Алданской зоны входят палеопротерозойские вулканогенно-осадочные структуры (см. рис. 3): Борогонский прогиб (Мишнин и др., 1987, 2002; Горошко и др., 2013), Кетеминский грабен (Горошко и др., 2013), Уордахская впадина и Мильская мульда (Мишнин и др., 2002). Под чехлом СП здесь размещаются многочисленные расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты, нефелин-сиенитовые массивы, щелочно-ультраосновные интрузивы и трубки кимберлитов (Мишнин,

Истомин, 2002; Истомин, Мишнин, 2004). В целом для гравитационного поля Лено-Алданской зоны характерно субмеридиональное простирание более или менее изометричных и слабовытянутых локальных аномалий. Борогонскому прогибу и Кетеминскому грабену соответствуют ступенчато осложненные полосовые аномалии. В отличие от них Уордахская впадина и Мильская мульда выделяются в поле силы тяжести в виде отрицательных аномальных полей изометричной, округлой формы, осложненных в центре контрастными положительными аномалиями.

Борогонский прогиб размером $400 \times (20-100)$ км² линейно вытянут в СЗ направлении, располагается в центральной осевой части Якутского гранулитового блока (см. рис. 3). Прогиб выполнен вулканогенно-молассоидным комплексом палеопротерозоя (Мишнин, Истомин, 2002). В районе р. Амга подошва палеопротерозойских отложений расположена на глубине 2.5 км от дневной поверхности, что установлено по резкому скачкообразному погружению сейсмических отражающих площадок (Истомин, Мишнин, 2004). В земной коре под прогибом выделяется мощное куполообразное тело плотностью до 3.05 г/см³, отвечающее мантийному диапиру ультраосновного состава с апофизами, выходящими под платформенный чехол (Мишнин и др., 2002). По геофизическим данным здесь выделяются крупные погребенные, предположительно, ультрамафит-мафитовые массивы, не уступающие по своим масштабам знаменитым южноафриканским аналогам (Мишнин и др., 1987).

Кетеминский грабен расположен на западном борту Якутского блока гранулитов, в зоне его сочленения с Суннагинским и Синским блоками (см. рис. 3). Он выделен по гравиметрическим и сейсмическим данным вдоль профиля 3-ДВ (Горошко и др., 2013). Грабен имеет в плане волнисто-эллипсоидальную вытянутую в субмеридиональном направлении форму размером $350 \times (50-100)$ км². Грабен ограничивается двумя СЗ разломами, переходящими по простиранию в субмеридиональные. По сейсмическим данным установлено центриклинальное падение плоскостей их сместителей: западных – под углом около 70°, восточных – 35–60° (см. рис. 2). В центральной части грабена выделяется Кетеминский расслоенный абиссолит анортозитов, вытянутый согласно простиранию вмещающей его структуры (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002).

Расслоенные металлоносные абиссолиты

Они выделены по результатам интерпретации геофизических данных (Мишнин и др., 2002; Истомин, Мишнин, 2004) с привлечением материалов гидрохимического и шлихоминералогического опробования (Округин и др., 2010). По анало-

гии с детально изученными доменами Южной Африки, Северной Америки и Кольского полуострова эти абиссолиты разделены В.М. Мишным и И.Н. Истоминым (Мишнин и др., 2002; Истомин, Мишнин, 2004) на три типа рудоносных структур: *бушвельдский, садбери и хибинский*, тесно связанных между собой единством вмещающей трансрегиональной структуры – Лено-Алданской рифтовой зоны базальтоидной протоактивизации с “Великой Дайкой Якутии” (см. рис. 3). Все они перекрыты сплошным венд-кембрийским платформенным чехлом мощностью до 1.5 км и более. К *бушвельдскому типу* отнесены “Великая Дайка Якутии”, Хатынг-Юряхский и Кетеминский абиссолиты, к типу *садбери* – Биелеминский, Мильский и Белькачинский (см. рис. 3). Если для первого типа абиссолитов прогнозируются залежи хромитов с платиноидами, то во втором типе ожидается выявление залежей сульфидных медно-никелевых руд с платиноидами, аналогичные залежи которых установлены в телах палеопротерозойских мафит-ультрамафитов Кун-Маньенского рудного поля (Гурьянов и др., 2022), где их возраст по U-Pb изотопии цирконов варьируется от 1.843 до 1.69 млрд лет (Гурьянов и др., 2023).

Хибинский тип рудоносных абиссолитов представлен Толонским и Хандыгским массивами нефелиновых сиенитов (см. рис. 3), приуроченных к СВ склону Якутского погребенного поднятия (Мишнин и др., 2002; Горошко и др., 2013). К этому типу, по-видимому, следует отнести и ряд более мелких щелочно-ультраосновных массивов.

Базит-гипербазитовый лополит “Великая Дайка Якутии”

На местности лополит соответствует зоне Якутско-Жиганского глубинного разлома (протяженность 1500 км, ширина 10–15 км), залеченного интенсивно намагниченным телом, состоящим из двух субвертикальных пластин – Восточной и Западной (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002). В плане это тело имеет лентообразную форму, но в поперечном сечении оно, как и его структурный африканский гомолог “Великая Дайка Родезии” ($550 \times (10-15) \text{ км}^2$), имеет форму сильно сжатого с боков расслоенного лополита. Аэромагнитной съемкой масштаба 1:200 000 закартированы центриклинальные замыкания пластин в “замки” сильно сжатых с боков синклиналей, что свидетельствует о лополитообразной форме “Великой Дайки Якутии” (Истомин, Мишнин, 2004). В расположенном за пределами этого региона в кимберлитовом Чемурдахском поле, в трубках Горняцкая и Дружба содержатся ксенолиты пород этого лополита. С *юрским размывом лополита* на Якутском своде ассоциируются проявления россыпной золото- и платиноносности; в русловом аллювии рек и

ручьев присутствуют шлиховые концентрации хромитов (Мишнин, Истомин, 2002).

На фоне поля силы тяжести Якутского блока гранулитов контрастно обособляются крупные локальные аномалии, имеющие вид изометричных или удлинённых контрастных максимумов (Истомин, Мишнин, 2004). К ним приурочены гигантские *расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты Биелеминский, Мильский и Белькачинский* (см. рис. 3). Контуры массивов четко фиксируются на карте полного горизонтального градиента силы тяжести кольцевыми аномалиями. Положительные гравитационные аномалии совмещаются с положительными магнитными аномалиями. Форма этих тел – блюдцеобразные лополиты, диаметр – от 40 до 75 км. Глубины залегания верхних кромок аномальных масс оцениваются в интервале от 400 до 1000 м. На внешних кольцах абиссолитов в виде характерных дуговых максимумов, по данным крупномасштабной аэромагнитной съемки, могут быть отражены боковые залежи сульфидных руд (Истомин, Мишнин, 2004). Магнитные аномалии обусловлены, предположительно, вкрапленными пирротин-пентландит-халькопиритовыми рудами боковых частей интрузивов основного состава по аналогии с медно-никелевым месторождением Кун-Маньё (Гурьянов и др., 2022, 2023).

По мнению В.М. Мишнина с соавторами (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002), Мильский, Биелеминский и Белькачинский лополиты образуют единый приповерхностный многофазный абиссолит с тремя магматическими центрами. Наряду с геофизическими признаками предполагаемые абиссолиты распознаются под осадочным чехлом по характерным конформным внешним краям одноименных Мильской и Белькачинской эпикратонных мульд проседания, сложенными, по данным скважин, палеопротерозойскими трахитами, метапелитами, кварцитопесчаниками (Мишнин и др., 2002). Они развивались на эродированной поверхности кристаллического фундамента как наложенные седиментационные впадины. К ним можно отнести и Урдахскую впадину (200 км к СЗ от г. Якутск), так как в ней выделяется Хатынг-Юряхский расслоенный лополит анортозитов по данным среднемасштабной гравиметрической съемки (Истомин и др., 2004). В Урдахской скважине в подошве юдомской серии, залегающей на анортозитах, описаны трахиты, каолиновые глины и эффузивный материал со следами размыва (Гриненко и др., 1995). Для осадочных пород мульды и впадин характерны постседиментационные изменения, отвечающие зеленосланцевой стадии метаморфизма, что сближает их с палеопротерозойскими образованиями.

В центре *Кетеминского грабена* локализован крупный расслоенный *Кетеминский лополит*, вытянутый в субмеридиональном направлении на

150 км, при ширине от 10 до 50 км (см. рис. 3). Учитывая сходство позиции данного лополита с расположением анортозитовых массивов Котуйкан-Монголинской зоны Анабарского щита, В.М. Мишнин с соавторами (2002) отнесли его к типу расслоенных анортозитов с выделением лейко-, мезо- и меланократовых разностей.

Расслоенные нефелин-сиенитовые массивы

Представлены они *Толонским и Хандыгским* абиссолитами (см. рис. 3), имеют в плане кольцевое строение и чашеобразную форму, в поперечнике их размеры 40–60 км, глубина оценивается до 15 км и более (Мишнин и др., 2002). Внешнее кольцо (стенки “чаш”) выполнено меланократовыми разновидностями щелочных пород, специализированных на редкие металлы, редкие земли и апатиты. По форме и размерам, а также по особенностям внутреннего строения оба абиссолита являются зеркальным гомологом знаменитого Хибинского массива на Кольском полуострове (Мишнин, Истомин, 2002; Истомин, Мишнин, 2004). Расчетные глубины залегания верхних кромок тел Толонского массива оцениваются в 400–500 м, а Хандыгского интрузива – около 5500 м. Абиссолит Толон выделен по овальной отрицательной аномалии силы тяжести (поперечник 40 км), совпадающей в плане с равновеликим магнитным максимумом. Такое совмещение аномалий характерно для классических кольцевых расслоенных нефелин-сиенитовых комплексов богатейших щелочных провинций мира (Пиланесберг; Хибинский массив). Структурно этот массив приурочен к восточному борту Борогонского палеограбена. По данным ВЭЗ установлена крупная положительная структура – подземная “столовая гора” Толон, перекрытая юрскими осадками мощностью около 500 м (Истомин, Мишнин, 2004). По центробежному рисунку речной сети и данным ВЭЗ установлена крупная положительная структура (столовая гора) по подошве юрских отложений, т. е. подземная “гора” Толон перекрыта покровом юрских осадков мощностью около 500 м (Истомин, Мишнин, 2004). Предполагается (по аналогии с Хибинским массивом Кольского полуострова), что вместе с апатитовыми рудами в меланократовых нефелиновых сиенитах могут присутствовать также и лопарит-тантал-ниобиевые руды (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002).

Щелочно-ультраосновные комплексы

На своде Якутского погребенного поднятия, в зоне структурного влияния Якутско-Жиганского глубинного разлома, выделено около двух десятков малых кольцевых щелочно-ультраосновных массивов (Мишнин и др., 2002). Все они сформированы в доплатформенный этап, как и абиссолит

Толон, приуроченный к Борогонскому прогибу. По всей вероятности, к этой группе следует отнести *Мендский и Чакыйский* массивы, погребенные под отложениями юры и кембрия на склонах Якутского поднятия (см. рис. 3). По отображению в гравитационных полях Мендский массив имеет много общего с богатым апатит-ниобиевым месторождением *Томтор* (Уджинская провинция), а Чакыйский плутон обладает дунитовым ядром и является вероятным аналогом *Кондёрского* платиноносного ультраосновного массива центрального типа (Истомин, Мишнин, 2004).

В срединной части Якутского погребенного поднятия расположены открытое *Хомпу-Майское кимберлитовое поле с трубкой Манчаары* и три прогнозируемые по геофизическим аномалиям трубчатые кимберлитовые поля (Г.А. Стогний, В.В. Стогний, 2006; Мишнин и др., 2010), локализованных в пределах зоны влияния Лено-Алданской рифтовой структуры (см. рис. 3). Кимберлиты трубки Манчаары (100 км к югу от г. Якутска, выявлена в 2007 г.) инъецированы в кристаллический фундамент и осадочный чехол этого поднятия (Зайцев и др., 2010; Мишнин и др., 2010; Смелов и др., 2012). Геологическое строение района, морфология тела, петрография, петрохимический состав трубки Манчаары рассмотрены в работах З.А. Алтуховой (2010а, б). Для кимберлитов этой трубки в работах (Зайцев и др., 2010; Смелов и др., 2012) приведена предварительная оценка их возраста по данным Rb-Sr метода – 358 млн лет.

В районе Якутского погребенного поднятия известны золотоплатиноносные россыпепроявления без установленных коренных источников (Смелов и др., 2001; Округин и др., 2010). Образование такой парастерической ассоциации полезных компонентов в аллювиальных отложениях, включающих золото, платину, индикаторные минералы кимберлитов и базит-ультрабазитовых комплексов (потенциальных источников алмазов, хромитовых, платиновых и редкометалльных руд), обусловлено их поступлением из разновозрастных источников, начиная с пород кристаллического фундамента и заканчивая фанерозойскими образованиями, и проецированием их на современную поверхность через промежуточные коллекторы неопротерозоя, венда, кембрия и юры (Тектоника..., 2001; Округин и др., 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тектоническая структура юго-восточной части СП, как и Северо-Азиатского кратона в целом, формировалась на протяжении более 1 млрд лет. Внутреннее строение обусловлено архейскими и палеопротерозойскими эндогенными процессами, но особую сложность тектоническое строение фундамента юго-востока СП приобрело в связи с широко

проявленными плюмовым магматизмом и тектоническими процессами палеопротерозоя. Этап формирования сплошного осадочного чехла этой части СП отделен от этапа оформления морфоструктуры кровли консолидированной коры длительным (не менее 1 млрд лет) континентальным перерывом и мощной структурной перестройкой, с которой связано завершение наиболее мощного в докембрии палеопротерозойского (эпикарельского) орогенеза. В качестве основных структурных подразделений донеопротерозойского фундамента выделены архейские и раннепалеопротерозойские тектонические блоки и сформировавшиеся в связи с обрушением и опусканием кровли кристаллического фундамента палеопротерозойские грабены, прогибы, мульды и впадины, с которыми связан базит-гипербазитовый и щелочно-ультраосновной магматизм палео- и неопротерозойского этапов.

Выделены палеоархейские (3.3–3.0 млрд лет) Якутский гранулит-базитовый и Нимырский гранулитогнейсовый, неоархейские (2.7–2.5 млрд лет) Суннагинский и Синский гранулитогнейсовые и раннепалеопротерозойские (2.3–2.0 млрд лет) Батомгский и Майский гранит-зеленокаменные блоки; Лено-Алданская палеорифтовая зона базальтоидной протоактивизации, вулканогенно-осадочные впадины и прогибы палео- и мезопротерозойского (1.87–1.69 млрд лет) возраста, а также фанерозойские зоны тектонической активизации фундамента (Юдомо-Майская, Нюрбинская, Верхояно-Колымская и Нижнеалданская). О раннедокембрийском времени заложения этих зон свидетельствует то, что в современном эрозионном срезе они совместно с перекрывающими (сшивающими) геодинамическими комплексами пород ряда геологических структур (рифтов, прогибов, впадин) маркируют (определяют) положение тектонических границ (зон коллизии) тех или иных разновозрастных блоков фундамента, сформировавшихся в условиях разной геодинамики.

На основании комплекса геолого-геофизических работ вблизи профиля 3-ДВ Томмот–Хандыга в ЮВ части Сибирской платформы обосновано выделение Лено-Алданской палеопротерозойской глубинной структуры. В ее состав входят палеопротерозойские вулканогенно-осадочные структуры (Борогонский прогиб, Кетеминский грабен, Урдахская впадина и Мильская мульда), многочисленные расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты – “Великая Дайка Якутии”, Хатынг-Юряхский, Кетеминский и другие нефелин-сиенитовые массивы, в том числе с карбонатитами, а также щелочно-ультраосновные интрузивы (Моролойский, Мендский, Чакыйский) и кимберлитовые трубки (Манчаары и др.).

Лено-Алданская зона обнаруживает структурное и формационное сходство с рудоносным поясом Трансвааль (ЮАР), протягивающимся в суб-

меридиональном направлении на 3000 км и включающем расслоенные базит-гипербазитовые абиссолиты Бушвелд, Великую Дайку Родезии, палеопротерозойскую мульду Ранда, кимберлитовые поля Претории (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Истомин, Мишнин, 2004). В поясе Трансвааль сосредоточены уникальные скопления платины, хрома, ванадия, золота, урана и алмазов. В Лено-Алданской зоне известны золотоносные, платиновые и хромитовые россыпепроявления без установленных коренных источников. Известно лишь одно открытое кимберлитовое поле Хомпу-Майское с трубкой Манчаары (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Округин и др., 2010, Алтухова, 2010а).

По результатам интерпретации аномалий гравитационного и магнитного полей с привлечением результатов гидрогеохимии и шлиховой съемки на исследуемой территории выделено три типа рудоносных структур: *бушвелдский, садбери и хибинский*, а также металлоносные эпикратонные мульды (Мишнин и др., 2002; Мишнин, Истомин, 2002; Истомин, Мишнин, 2004). По аналогии с эталонами для их местных якутских гомологов предполагается специализация на хромиты с сопутствующими платиноидами, сульфидные медно-никелевые руды с платиноидами, редкие земли и редкие металлы, что позволяет рассматривать эту ветвь Лено-Алданской палеорифтовой зоны как гигантскую рудоконтролирующую структуру – гомолога уникальной по своему рудному потенциалу провинции Трансвааль Южной Африки.

Высокая степень комплексной геолого-геофизической изученности вдоль полосы опорного профиля 3-ДВ позволяет принять полученные результаты и выводы как определяющую рабочую гипотезу для последующих средне- и крупномасштабных геолого-прогнозных работ.

Благодарности

Авторы выражают благодарность и признательность анонимным рецензентам, замечания и предложения которых способствовали улучшению представленной рукописи. Графические работы выполнены М.Г. Гершанович и О.М. Меньшиковой, которым авторы также благодарны и признательны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алтухова З.А. (2010а) Петрография кимберлитоподобных пород трубки Манчаары в Центральной Якутии (Якутское погребенное поднятие – архейский кратон). *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии*. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 36-38.
- Алтухова З.А. (2010б) Минералогия кимберлитовых пород трубки Манчаары (Якутское погребенное поднятие – архейский кратон) в Центральной Якутии. *Вопросы геологии и комплекс. освоения природных*

- ресурсов Восточной Азии. Благовещенск: ИГИП ДВО РАН, 39-41.
- Гайдук В.В. (1988) Вилойская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 128 с.
- Гафаров Р.А., Лейтес А.М., Федоровский В.С., Прозоров Ю.И., Савинская М.С., Савинский К.А. (1978) Тектоническое районирование фундамента Сибирской платформы и этапы становления его континентальной коры. *Геотектоника*, (1), 43-57.
- Глебовицкий В.А., Хильтова В.Я., Козаков И.И. (2008) Тектоническое строение Сибирского кратона: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных. *Геотектоника*, (1), 12-26.
- Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. (2010) М.: ГЕОКАРТ ГЕОС, вып. 1, 408 с.
- Глуховский М.З. (2009) Палеопротерозойский термотектоногенез – ротационно-плюмовая модель формирования Алданского щита. *Геотектоника*, (3), 51-78.
- Горошко М.В., Гурьянов В.А. (2008) Мезо-неопротерозойские комплексы чехла ЮВ Сибирской платформы: условия образования и основные черты тектоники. *Геотектоника*, (2), 80-96.
- Горошко М.В., Гурьянов В.А. (2004) Уран-редкометалльное оруденение в массивах ультраосновных щелочных пород ЮВ Сибирской платформы. *Тихоокеан. геология*, **23**(2), 76-91.
- Горошко М.В., Гурьянов В.А., Шевченко Б.Ф., Старосельцев В.С., Сальников А.С., Заможная Н.Г., Петров А.В. (2013) Лено-Алданская протерозойская зона базальтоидной протоактивизации юго-востока Сибирской платформы. *Докл. АН*, **451**(3), 303-307.
- Государственная геологическая карта РФ (3-е поколение). (2014) М-6 1:1 000 000. Лист О-53-Нелькан. (Гл. науч. ред. Г.В. Роганов). СПб.: Картфабрика ФГУП ВСЕГЕИ, 472 с.
- Гурьянов В.А. (2007) Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит). Владивосток: Дальнаука, 227 с.
- Гурьянов В.А., Диденко А.Н., Песков А.Ю., Роганов Г.В., Дымович В.А. (2016) Раннедокембрийские гранитоиды Батомгского выступа фундамента ЮВ Сибирской платформы: возраст и геодинамическая обстановка формирования. *Тихоокеан. геология*, **35**(3), 23-44.
- Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И. (1995) Геологическое строение Большого Якутска. *Регион. геология Якутии*. Якутск: Якутск. гос. ун-т, 3-19.
- Гурьянов В.А., Пересторонин А.Н., Диденко А.Н., Песков А.Ю., Косынкин А.В. (2013) Базитовые дайки верхнего палеопротерозоя Учуро-Улканского района (восток Алдан-Станового щита): структурное положение, состав и обстановка формирования. *Геотектоника*, (4), 47-60.
- Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Абражевич А.А., Чубаров В.М., Тихомирова А.И. (2022) Геологическая позиция, минералы редких и благородных металлов в рудах медно-никелевого месторождения Кун-Маньё (ЮВ Сибирской платформы). *Тихоокеан. геология*, **41**(6), 3-23. <https://doi.org/30911/0207-4028-2022-41-6-3-23>
- Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Кириллов В.Е. (2023) Палеопротерозойские ультрамафитовые дайки кунманьёнского ареала (ЮВ Сибирской платформы): структурное положение, состав и обстановка формирования. *Тихоокеан. геология*, **42**(2), 68-87. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2023-42-2-68-87>
- Гурьянов В.А., Роганов Г.В., Зелепугин В.Н., Розин М.И., Салтыкова Т.Е. (2012) Изотопно-геохронологические исследования цирконов раннедокембрийских пород ЮВ части Алдан-Станового щита: новые результаты, геологическая интерпретация. *Тихоокеан. геология*, **31**(2), 3-21.
- Диденко А.Н., Ефимов А. С., Нелюбов П.А., Сальников А.С., Старосельцев В.С., Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Гурьянов В.А., Заможная Н.Г. (2013) Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: профиль Скворородино–Томмот. *Геология и геофизика*, **54**(10), 1583-1599.
- Диденко А.Н., Ефимов А.С., Шевченко Б.Ф., Гурьянов В.А., Горошко М.В., Старосельцев В.С., Сальников А.С., Заможная Н.Г. (2016) Тектоника земной коры области сочленения ЮВ части Сибирской платформы и Верхояно-Колымского орогенного пояса в полосе профиля 3-ДВ Хандыга–Адыгалах. *Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов платформ*. М.: Геос, 290-294.
- Зайцев А.И., Смелов А.П., Алтухова З.А. (2010) Первые данные по изотопному составу стронция и возрасту кимберлитов трубки Манчаары (Центральная Якутия). *Отч. геология*, (5), 51-60.
- Зайцев А.И., Энтин А.Р., Ненашев Н.И. (1992) Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 248 с.
- Истомин И.Н., Мишнин В.М. (2004) К проблеме поисков платинометалльных месторождений в Якутии. Платина России. *Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов*. М.: Геоинформарк, вып. 5, 409-421.
- Карта аномального магнитного поля (ΔТ) России, сопредельных государств и прилегающих акваторий масштаба 1:5 000 000. (2000) (Ред. Т.П. Литвинова). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ.
- Ковач В.П., Котов А.Б., Смелов А.П., Старосельцев К.В., Сальникова Е.Б., Загорная Н.Ю., Сафонов А.Ф., Павлушин А.Д. (2000) Этапы формирования континентальной коры погребенного фундамента восточной части Сибирской платформы: Sm-Nd изотопные данные. *Петрология*, **8**(4), 394 с.
- Косыгин Ю.А. (1983) Тектоника. М.: Недра, 536 с.
- Котов А.В. (2003) Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 78 с.
- Кузьмин В.Н., Глебовицкий В.А., Матуков Д.И. (2005) Древнейшие основные гранулиты Северо-Востока России (Охотский массив). *Докл. АН*, **402**(2), 217-221.
- Малышев Ю.Ф., Манилов Ю.Ф., Гурьянов В.А. (2014) Глубинное строение восточной части Северо-Азиатского кратона по результатам геопотенциальных полей. *Литосфера*, (2), 144-151.

- Мишин В.М., Андреев А.П., Бекренев К.А. (2010) Якутское погребенное поднятие: прогноз нового кимберлитового поля в Центральной Якутии. *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии*. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 94-96.
- Мишин В.М., Бадарханов Ю.Н., Болознев В.И. (1987) Якутский мегакратон: нетрадиционные аспекты тектоники и минерагении. Якутск: Якутский фил. СО АН СССР, 155 с.
- Мишин В.М., Истомин И.Н. (2002) Новые промышленные типы высококонцентрированного оруденения в глубинных структурах Якутии (методика геолого-геофизического изучения и прогнозной оценки). *Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса РС(Я) в современных условиях*. Якутск: Госкомгеология РС(Я), 89-92.
- Мишин В.М., Истомин И.Н., Гриненко В.С. (2002) Новая рудоносная провинция на востоке Сибирской платформы. *Вестн. Госкомгеологии РС(Я)*, (1), 6-14.
- Округин А.В., Мишин М.В., Андреев А.П., Бекренев К.А. (2010) Топоминералогическая характеристика потенциально рудоносных объектов якутского погребенного поднятия (восточная часть Сибирской платформы). *Отеч. геология*, (1), 13-22.
- Прокопьев А.В., Бахарев А.Г., Торо Х., Миллер Э.Л., Хоуриген Дж.К., Думитру Т.А. (2003) Среднепалеозойский окраинно-континентальный магматизм и мезозойские метаморфические события зоны сочленения Северо-Азиатского кратона и Охотского террейна. *Отеч. геология*, (6), 57-64.
- Розен О.М. (2003) Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции. *Геотектоника*, (3), 3-21.
- Розен О.М. (2014) Структура и эволюция Сибирского кратона. *Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит*. Владивосток: Дальнаука, 116-117.
- Розен О.М., Серенко В.П., Специус З.В., Монаков А.В., Зинчук Н.Н. (2002) Якутская кимберлитовая провинция: положение в структуре Сибирского кратона, особенности состава верхней и нижней коры. *Геология и геофизика*, **43**(1), 3-26.
- Смелов А.П., Андреев А.П., Алтухова З.А. (2010). Кимберлиты трубки Манчаары: новое кимберлитовое поле Центральной Якутии. *Геология и геофизика*, **51**(1), 153-159.
- Смелов А.П., Белоусова Е.А., Зайцев А.И., Олейников О.Б., Павлушин А.Д., Опарин Н.А. (2013) Первые данные о составе и возрасте погребенного фундамента Алданской антеклизы (Сибирская платформа): результаты датирования ксеногенного циркона из кимберлитов трубки Манчаары. *Отеч. геология*, (5), 68-72.
- Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Тимофеев В.Ф. (2001) Фундамент Северо-Азиатского кратона. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Саха (Якутия)*. М.: МАИК Интерпериодика, 81-104.
- Смелов А.П., Олейников О.Б., Павлушин А.Д., Толстов А.В. (2012) Алмазная "ласточка" Манчаары. *Наука из первых рук*, **45**(3), 20-25.
- Смелов А.П., Тимофеев В.Ф. (2003) Террейновый анализ и геодинамическая модель формирования Северо-Азиатского кратона в раннем докембрии. *Тихоокеан. геология*, **22**(6), 42-54.
- Специус З.В., Гриффин В.Л., Орейли С.И. (2004) Re-Os системы и датировка возраста сульфидов в минералах из кимберлитов *in situ*, приложение к прогнозированию месторождений алмазов. *Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50)*. СПб.: ВСЕГЕИ, 337-339.
- Стогний Г.А., Стогний В.В. (2005) Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. Якутск: Сахаполиграфиздат, 174 с.
- Стогний Г.А., Стогний В.В. (1998) Платиноносность Алдано-Станового щита. *Геология руд. месторождений*, **40**(6), 529-535.
- Стогний Г.А., Стогний В.В. (2006) Региональные критерии прогноза кимберлитовых субпровинций Востока Сибирской платформы на основе интерпретации гравимагнитных материалов. *Рудогенез и металлогения Востока Азии*. Якутск: ИГАБМ, 188-191.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха. (2001) М.: МАИК Интерпериодика, 571 с.
- Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Диденко А.Н., Гурьянов В.А., Старосельцев В.С., Сальников А.С. (2011) Глубинное строение, мезозойская тектоника и геодинамика области сочленения восточной части Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы. *Геология и геофизика*, **52**(12), 2122-2131.
- Li Y., Oldenburg D.W. (1998) 3D inversion of gravity data. *Geophysics*, **63**, 109-119.
- Nutman A.P., Chernyshev I.V., Baadsgaard H., Smelov A.P. (1992) The Aldan shield of Siberia. The age of its Archean components and evidence for widespread reworking in the mid Proterozoic. *Precambrian Res.*, **54**(4), 195-210.
- Pearson A.I. (1999) The age of continental roots. *Lithos*, (4), 171-191.
- Smelov A.P., Timofeev V.F. (2007) The age of the North Asian cratonic basement: An overview. *Gondwana Res.*, (12), 278-288.
- Zlatopolsky A. (1997) Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA. *Comput. Geosci.*, **23**(1), 45-62.

REFERENCES

- Starosel'tsev V.S., Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Gur'yanov V.A., Zamozhnyaya N.G. (2013) Structure and evolution of the earth's crust in the junction area between the Central Asian belt and the Siberian platform: Skovorodino–Tommot survey line. *Geol. Geophys.*, **54**(10), 1583-1599. (In Russ.)
- Didenko A.N., Efimov A.S., Shevchenko B.F., Gur'yanov V.A., Goroshko M.V., Starosel'tsev V.S., Sal'nikov A.S., Zamozhnyaya N.G. (2016) Crustal tectonics of the junction area of the southeastern Siberian Platform and the Verkhoyansk–Kolyma orogenic belt within the 3-DV Khandyga–Adygalakh profile zone. (2016) *Tectonics, geodynamics and ore genesis of fold belts of plateforms*. Moscow, Geos Publ., 290-294. (In Russ.)
- Gafarov R.A., Leites A.M., Fedorovskii V.S., Prozorov Yu.I., Savinskaya M.S., Savinskii K.A. (1978) Tectonic zoning of the Siberian Platform basement and stages of its continental crust evolution. *Geotectonics*, (1), 43-57. (In Russ.)
- Gaiduk V.V. (1988) Vilyui Middle Paleozoic Rift System. Yakutsk, Yakutsk Branch of the USSR Academy of Sciences, 128 p. (In Russ.)
- Glebovitskii V.A., Khil'tova V.Ya., Kozakov I.I. (2008) Tectonic structure of the Siberian craton: interpretation of geological, geophysical, geochronological, and isotope-geochemical data. *Geotectonics*, (1), 12-26. (In Russ.)
- Glukhovskii M.Z. (2009) Paleoproterozoic thermotectonogenesis – rotational-plume model of the Aldan shield formation. *Geotectonics*, (3), 51-78. (In Russ.)
- Goroshko M.V., Gur'yanov V.A. (2008) Meso-Neoproterozoic cover complexes of the southeastern Siberian Platform: conditions of formation and main features of tectonics. *Geotectonics*, (2), 80-96. (In Russ.)
- Goroshko M.V., Gur'yanov V.A. (2004) Uranium-rare metal mineralization in massifs of ultramafic alkaline rocks of the southeastern Siberian Platform. *Tikhookean. Geol.*, **23**(2), 76-91. (In Russ.)
- Goroshko M.V., Guryanov V.A., Shevchenko B.F., Starosel'tsev V.S., Sal'nikov A.S., Zamozhnyaya N.G., Petrov A.V. (2013) Proterozoic Lena-Aldan zone of basaltic protoactivation of the southeastern Siberian Platform. *Dokl. Akad. Nauk*, **451**(3), 303-307. (In Russ.)
- Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I. (1995) Geological structure of Greater Yakutsk. *Regional geology of Yakutia*. Yakutsk, Yakutia State University, 3-19. (In Russ.)
- Gur'yanov V.A. (2007) Geology and metallogeny of the Ulkan region (Aldan-Stanovoy shield). Vladivostok, Dal'nauka Publ., 227 p. (In Russ.)
- Gur'yanov V.A., Didenko A.N., Peskov A.Yu., Roganov G.V., Dymovich V.A. (2016) Early Precambrian granitoids of the Batomga basement salient of the southeastern Siberian Platform: age and geodynamic setting of formation. *Tikhookean. Geol.*, **35**(3), 23-44. (In Russ.)
- Gur'yanov V.A., Perestoronin A.N., Didenko A.N., Peskov A.Yu., Kosynkin A.V. (2013) Upper Paleoproterozoic basic dikes of the Uchur-Ulkansky region (eastern Aldan-Stanovoy Shield): structural position, composition and formation environment. *Geotectonics*, (4), 47-60. (In Russ.)
- Gur'yanov V.A., Petukhova L.L., Abrazhevich A.A., Chubarov V.M., Tikhomirova A.I. (2022) Geological position, minerals of rare and noble metals in the ores of the Kun-Manye copper-nickel deposit (southeastern periphery of the Siberian Platform). *Tikhookean. Geol.*, **41**(6), 3-23. (In Russ.)
- Gur'yanov V.A., Petukhova L.L., Kirillov V.E. (2023) Paleoproterozoic ultramafic dikes of the Kun-Manye area (southeastern Siberian Platform): structural position, composition and formation environment. *Tikhookean. Geol.*, **42**(2), 68-87. (In Russ.) <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2023-42-2-68-87>
- Gur'yanov V.A., Roganov G.V., Zelepugin V.N., Rozinov M.I., Saltykova T.E. (2012) Isotope-geochronological studies on zircons from early Precambrian rocks of the southeastern Aldan-Stanovoy Shield: new results and their geological interpretation. *Tikhookean. Geol.*, **31**(2), 3-21. (In Russ.) <https://doi.org/30911/0207-4028-2022-41-6-3-23>
- Istomin I.N., Mishnin V.M. (2004) Else one approach to exploring for platinum metal deposits in Yakutia. Platinum of Russia. *Problems of development, assessment, reproduction and complex use of the mineral resource base of platinum metals*. Moscow, Geoinform Publ., iss. 5, 409-421. (In Russ.)
- Kosygin Yu.A. (1983) Tectonics. Moscow, Nedra Publ., 536 p. (In Russ.)
- Kotov A.V. (2003) Boundary conditions of geodynamic models for the formation of the Aldan Shield continental crust. Extended Abstract of Dr. Sci. (Geol.&Min.) Dissertation. St.Petersburg, Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, 78 p. (In Russ.)
- Kovach V.P., Kotov A.B., Smelov A.P., Starosel'tsev K.V., Sal'nikova E.B., Zagornaya N.Yu., Safonov A.F., Pavlushin A.D. (2000) Formation stages of continental crust of the buried basement of the eastern Siberian platform: Sm-Nd isotope data. *Petrology*, **8**(4), 394. (In Russ.)
- Kuz'min V.N., Glebovitskii V.A., Matukov D.I. (2005) The oldest basic granulites of northeastern Russia (Okhotsk massif). *Dokl. Akad. Nauk*, **402**(2), 217-221. (In Russ.)
- Malyshev Yu.F., Manilov Yu.F., Gur'yanov V.A. (2014) Deep structure of the eastern part of the North Asian craton based on the results of geopotential fields. *Lithosphere (Russia)*, (2), 144-151. (In Russ.)
- Map of the anomalous magnetic field (ΔT) of Russia, neighboring states and adjacent water areas. Scale 1:5 000 000. (2000) (Ed. T.P. Litvinov). St.Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory. (In Russ.)
- Mishnin V.M., Andreev A.P., Bekrenev K.A. (2010) Yakut buried uplift: forecast of a new kimberlite field in Central Yakutia. *Issues of geology and comprehensive development of natural resources of East Asia*. Blagoveshchensk, IGI FEB RAS Publ., 94-96. (In Russ.)
- Mishnin V.M., Badarkhanov Yu.N., Boloznev V.I. (1987) Yakut megacraton: unconventional aspects of tectonics and minerageny. Yakutsk, Yakut Branch of the USSR Academy of Sciences, 155 p. (In Russ.)
- Mishnin V.M., Istomin I.N. (2002) New industrial types of highly concentrated mineralization in deep structures of Yakutia (methodology of geological and geophysical study and predictive assessment). *Status and prospects of development of the mineral resource complex of the Republic of Sakha (Yakutia) in present-day conditions*. Yakutsk, Goskomgeologiya of the Republic of Sakha (Yakutia), 89-92. (In Russ.)
- Mishnin V.M., Istomin I.N., Grinenko V.S. (2002) New ore-

- bearing province in the east of the Siberian Platform. *Bulletin of the State Committee on Geology of the Republic of Sakha (Yakutia)*, (1), 6-14. (In Russ.)
- Okrugin A.V., Mishnin M.V., Andreev A.P., Bekrenev K.A. (2010) Topomineralogical characteristics of potentially ore-bearing objects of the Yakut buried uplift (eastern Siberian Platform). *Otech. Geol.*, (1), 13-22. (In Russ.)
- Prokop'ev A.V., Bakharev A.G., Toro H., Miller E.L., Khourigen J.K., Dumitru T.A. (2003) Middle Paleozoic continental margin magmatism and Mesozoic metamorphic events of the junction zone between the North Asian craton and the Okhotsk terrane. *Otech. Geol.*, (6), 57-64. (In Russ.)
- Rozen O.M. (2003) Siberian craton: tectonic zoning, evolution stages. *Geotectonics*, (3), 3-21. (In Russ.)
- Rozen O.M. (2014) Structure and evolution of the Siberian craton. *Geological processes in the settings of subduction, collision and sliding of lithospheric plates*. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 116-117. (In Russ.)
- Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Monakov A.V., Zinchuk N.N. (2002) Yakut kimberlite province: position in the structure of the Siberian craton, features of upper- and lower-crust composition. *Geol. Geophys.*, **43**(1), 3-26. (In Russ.)
- Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Didenko A.N., Gur'yanov V.A., Starosel'tsev V.S., Sal'nikov A.S. (2011) Deep structure, Mesozoic tectonics and geodynamics of the junction area between the eastern Central Asian belt and the Siberian Platform. *Geol. Geophys.*, **52**(12), 2122-2131. (In Russ.)
- Smelov A.P., Andreev A.P., Altukhova Z.A. (2010). Kimberlites of the Manchaary pipe: a new kimberlite field in Central Yakutia. *Geol. Geophys.*, **51**(1), 153-159. (In Russ.)
- Smelov A.P., Belousova E.A., Zaitsev A.I., Oleinikov O.B., Pavlushin A.D., Oparin N.A. (2013) First data on the composition and age of the buried basement of the Aldan antecline (Siberian platform): dating results for xenogenic zircons from kimberlites of the Manchaary pipe. *Otech. Geol.*, (5), 68-72. (In Russ.)
- Smelov A.P., Oleinikov O.B., Pavlushin A.D., Tolstov A.V. (2012) The diamond "swallow" of Manchaara. *Science First Hand*, **45**(3), 20-25. (In Russ.)
- Smelov A.P., Timofeev V.F. (2003) Terrane analysis and geodynamic model for the formation of the North Asian craton in the Early Precambrian. *Tikhookean. Geol.*, **22**(6), 42-54. (In Russ.)
- Smelov A.P., Zedgenizov A.N., Timofeev V.F. (2001) North Asian craton basement. Tectonics, geodynamics and metallogeny of Sakha (Yakutia). Moscow, MAIK Interperiodika Publ., 81-104. (In Russ.)
- Spetsius Z.V., Griffin V.L., Oreili S.I. (2004) Re-Os systems and in situ age dating of sulfides in kimberlite minerals with application to diamond deposit prediction. *Efficiency of diamond deposit prediction and exploration: past, present and future (Diamonds-50)*. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 337-339. (In Russ.)
- State Geological Map of the Russian Federation (3rd gener.). (2014) Scale 1:1 000 000. Sheet O-53-Nelkan. Chief Scientific Editor G.V. Roganov. St.Petersburg, Cartography Factory of FSUE VSEGEI, 472 p. (In Russ.)
- Stognii G.A., Stognii V.V. (2005) Geophysical fields of the eastern North Asian craton. Yakutsk, Sakhapoligrafizdat Publ., 174 p. (In Russ.)
- Stognii G.A., Stognii V.V. (1998) Platinum in the Aldan-Stanovoy shield. *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **40**(6), 529-535. (In Russ.)
- Stognii G.A., Stognii V.V. (2006) Regional criteria for forecasting kimberlite subprovinces in the east of the Siberian platform based on interpretation of gravity-magnetic data. *Ore genesis and metallogeny of eastern Asia*. Yakutsk, IGABM Publ., 188-191. (In Russ.)
- Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Republic of Sakha. (2001) Moscow, MAIK Interperiodika, 571 p. (In Russ.)
- Zaitsev A.I., Entin A.R., Nenashev N.I. (1992) Geochronology and isotope geochemistry of carbonatites of Yakutia. Yakutsk, YaNTs SO RAN Publ., 248 p. (In Russ.)
- Zaitsev A.I., Smelov A.P., Altukhova Z.A. (2010) First data on the isotopic composition of strontium and the age of kimberlites of the Manchaary pipe (Central Yakutia). *Otech. Geol.*, (5), 51-60. (In Russ.)
- Li Y., Oldenburg D.W. (1998) 3D inversion of gravity data. *Geophysics*, **63**(1), 109-119.
- Nutman A.P., Chernyshev I.V., Baadsgaar H., Smelov A.P. (1992) The Aldan shield of Siberia. The age of its Archean components and evidence for widespread reworking in the mid Proterozoic. *Precambrian Res.*, **54**(4), 195-210.
- Pearson A.I. (1999) The age of continental roots. *Lithos.*, (4), 171-191.
- Smelov A.P., Timofeev V.F. (2007) The age of the North Asian cratonic basement: An overview. *Gondwana Res.*, (12), 278-288.
- Zlatopolsky A. (1997) Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA. *Comput. Geosci.*, **23**(1), 45-62.