

УДК 553.241:550.83 (571.5)

DOI: 10.46698/VNC.2025.56.76.002

Оригинальная статья

Глубинное строение Станового мегаблока Алдано-Станового щита (по данным опорных профилей 3-ДВ и 8-ДВ)

В.В. Стогний^{ID}, Г.А. Стогний^{ID}

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: stogny_vv@mail.ru

Статья поступила: 24.01.2025, доработана: 04.03.2025, принята к публикации: 07.03.2025

Резюме: **Актуальность работы.** Данные опорных геофизических профилей определяют структуру земной коры и применяются для решения ключевых вопросов геотектоники и геодинамики и металлогенического районирования исследуемых регионов. Появившиеся в последние десятилетия материалы опорных геофизических профилей 3-ДВ и 8-ДВ, пройденных в пределах структур Алдано-Станового щита Восточной Сибири, дают новый материал к изучению этого региона. **Цель работы** – определить основные элементы глубинного строения Станового мегаблока и его эволюции. **Методы исследования** – комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов данного региона с учетом региональных неоднородностей земной коры в материалах опорных геофизических профилей 3-ДВ и 8-ДВ и типизацией их природы. **Результаты работы.** Обосновано, что основным структурообразующим элементом Станового мегаблока является Каларо-Чогарский межплитный разлом, в зоне которого в результате мезозойской коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов была сформирована структура Станового подвижного пояса. Его элементами являются Становой пояс массивов гранитов мезозойского возраста, а также субширотные пояса блоков высокобарических гранулитов, Каларо-Джугджурский и Ларбинско-Чогарский, выдвинутые с нижних горизонтов земной коры, ортогональные простиранию основных структур Алданского мегаблока. Глубинные ограничения Станового мегаблока с юга и севера представлены соответственно Северотурурингским и Чульманским разломами.

Ключевые слова: Становой мегаблок, гравитационное поле, земная кора, Алдано-Становой щит, сейсмические неоднородности, геолого-геофизическая модель, блоки гранулитов, межплитный разлом.

Благодарности: Работа выполнена по госзаданию Геофизического института ВНЦ РАН, код: FMSM-2025-0025.

Для цитирования: Стогний В.В., Стогний Г.А. Глубинное строение Станового мегаблока Алдано-Станового щита (по данным опорных профилей 3-ДВ и 8-ДВ). *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(1): 18-31. DOI: 10.46698/VNC.2025.56.76.002

DOI: 10.46698/VNC.2025.56.76.002

Original paper

Deep structure of the Stanovoy megablock of the Aldan-Stanovoy shield (according to the data of reference profiles 3-DV and 8-DV)

V.V. Stogny^{ID}, G.A. Stogny^{ID}

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,
e-mail: stogny_vv@mail.ru

Received: 24.01.2025, revised: 04.03.2025, accepted: 07.03.2025

Abstract: Relevance. The data of reference geophysical profiles determine the structure of the Earth's crust and are used to solve key issues of geotectonics and geodynamics and metallogenic zoning of the studied regions. The materials of reference geophysical profiles 3-DV and 8-DV, which appeared in recent decades and were passed within the structures of the Aldan-Stanovoy Shield of Eastern Siberia, provide new material for studying this region. **The aim** of the work is to determine the main elements of the deep structure of the Stanovoy geoblock and its evolutions. **Research methods.** Comprehensive interpretation of geological and geophysical materials of the studied region, taking into account regional inhomogeneities of the Earth's crust in the materials of reference geophysical profiles 3-DV and 8-DV and typification of their nature. **Results.** It is substantiated that the main structure-forming element of the Stanovoy megablock is the Kalaro-Chogar interplate fault, in the zone of which the structure of the Stanovoy mobile belt was formed as a result of the Mesozoic collision of the North Asian and Sino-Korean cratons. Its elements are the Stanovoy belt of Mesozoic granite massifs, as well as sublatitudinal belts of high-pressure granulite blocks, the Kalaro-Dzhugdzhursky and Larbinsko-Chogarsky, pushed out from the lower horizons of the Earth's crust, orthogonal to the strike of the Aldan megablock main structures. The deep boundaries of the Stanovoy megablock from the south and north are represented by the Severotukursky and Chulmanskyy faults, respectively.

Keywords: Stanovoy megablock, gravitational field, Earth's crust, Aldan-Stanovoy shield, seismic heterogeneities, geology-geophysical model, granulite blocks, interplate fault.

Acknowledgment: This work was carried out according to the state assignment of the Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, code: FMSM-2025-0025.

For citation: Stogny V.V., Stogny G.A. Deep structure of the Stanovoy megablock of the Aldan-Stanovoy shield (according to the data of reference profiles 3-DV and 8-DV). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(1): 18-31. DOI: 10.46698/VNC.2025.56.76.002

Введение

Алданский щит и Становая (Джугджуро-Становая, Восточно-Становая) складчатая область рассматриваются как единый Алдано-Становой щит [Годзевич, 1986; Стогний и др., 2003]. С позиции блоковой делимости литосферы Алдано-Становой щит в контурах практически совпадает с одноименным геоблоком, состоящим из Алданского и Станового мегаблоков [Красный, 1983]. Становой мегаблок сформировался в зоне взаимодействия Амурской и Восточно-Сибирской литосферных плит, что и определило структуру земной коры и металлогению. В последние десяти-

тилетию появились материалы по глубинному строению данного региона на основе интерпретации материалов опорных геофизических профилей 3–ДВ и 8–ДВ [Гошко и др., 2014; Диденко и др., 2013; Рудницкая и др., 2013; Соловьев и др., 2020, 2021; Хераскова и др., 2018]. Это позволяет с новых позиций подойти к оценке структурных особенностей земной коры Станового мегаблока. В качестве базовых элементов при построении модели строения земной коры принята методика выявления региональных неоднородностей литосферы по комплексному анализу геолого-геофизических материалов и типизации их природы.

Цель проведенных исследований заключалась в рассмотрении и увязке структурных особенностей земной коры Станового мегаблока на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов данного региона с учетом региональных неоднородностей земной коры в материалах опорных геофизических профилей 3–ДВ и 8–ДВ и типизации их природы.

Основные элементы структуры Становой складчатой области

За северное ограничение Становой складчатой области принимается Предстановая система субширотных надвигов, трассирующая с юга впадины Южно-Алданской системы, а за южное – Южностановая (см. рис. 1). В составе Предстановой системы хорошо изучены Южно-Якутский, Атугей-Нуямский, Авгенкуро-Майский, Токинский надвиги. Блоки высокобарических гранулитов (Зверевский, Каларский, Верхнетимптонский, Сутамский и Туксанийский) относятся к северной части Станового мегаблока [Стогний и др., 2003].

Становой комплекс. Становой мегаблок сложен раннедокембрийскими метаморфическими породами станового комплекса, представленного тоналит-трондьемито-гнейсами, которые метаморфизованы в высокотемпературной амфиболитовой фации ($T=650\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=6\text{--}8\text{ кбар}$) с повсеместным проявлением процессов ультраметаморфизма.

Селенга-Становой каледонский орогенный пояс (его восточный сегмент по [Тектоника ..., 2005]) на 80% сложен мезозой-палеозойскими гранитоидами, а выходы раннедокембрийских метаморфических пород закартированы в небольших блоках.

Гранулитовые блоки. Гранулитовые блоки Станового мегаблока образуют два субширотных пояса протяженностью до 900 км, Каларо-Джугджурский в составе Каларского, Зверевского, Верхнетимптонского, и Сутамского блоков гранулитов, и Ларбинско-Чогарский пояс в составе Ларбинского, Брянтинского, Сивакано-Токского и Чогарского блоков гранулитов.

Метаморфизм гранулитов изменяется от фации повышенной глубинности до фации высокой глубинности. Так, гранулиты Ларбинского, Сутамского, Брянтинского, Сивакано-Токского и Чогарского блоков метаморфизованы при $T=800\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=9\text{--}11\text{ кбар}$ [Шульдинер и др., 1983]. Согласно [Балтыбаев и др., 2024] метаморфизм глиноземистых гнейсов Ларбинского блока происходил в условиях гранулитовой фации умеренных давлений (7–8 кбар, $800\text{--}850\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Металлогенический облик Становой металлогенической области определяют многочисленные россыпи золота, приуроченные к блокам высокобарических гранулитов. К наиболее крупным золотороссыпным районам следует отнести Дамбукинский, Верхнетимптонский, Сутамский, Предджугджурский и Чогаро-Удыхинский.

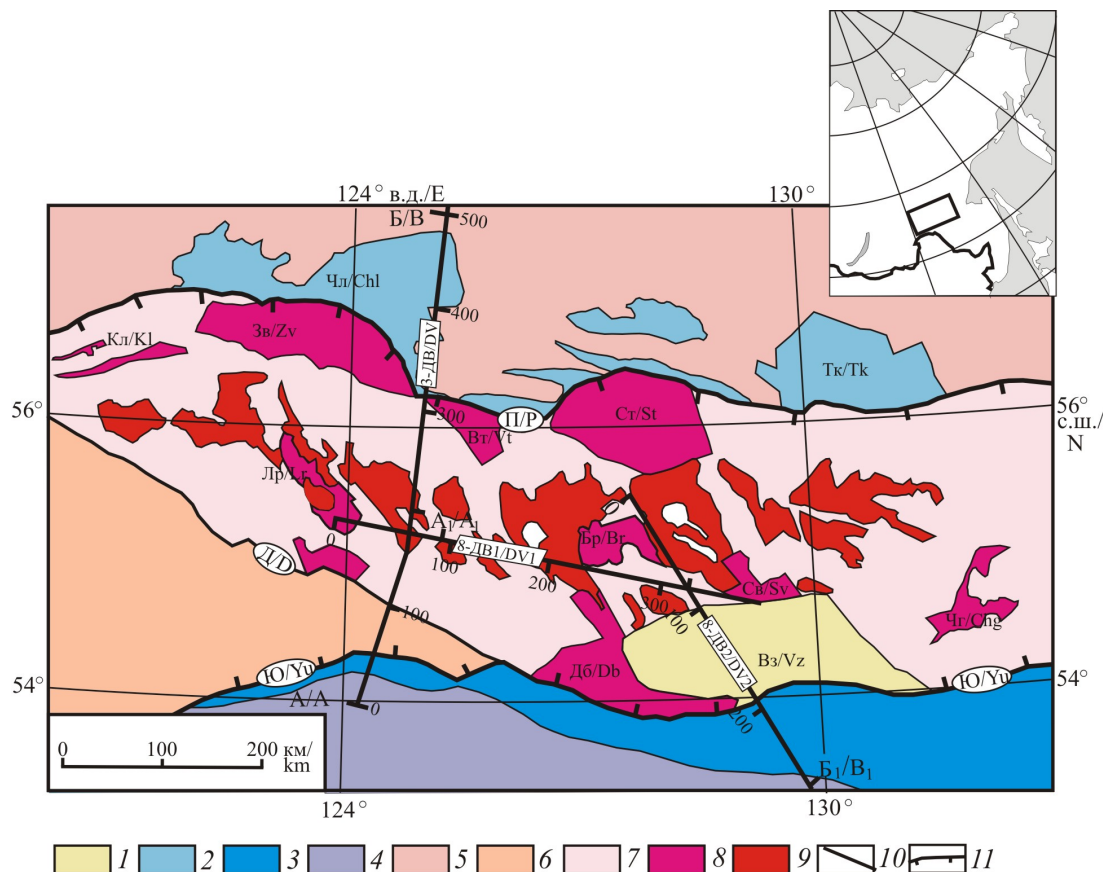


Рис. 1. Схема геологического строения Становой складчатой области по (Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 2 500 000 / Гл. ред.: Л.И. Красный, Пэн Юньбяо. С.-П.: ВСЕГЕИ. 1998), [Стогний и др., 2003] (с упрощением) и положение опорных профилей 3-ДВ и 8-ДВ: 1 – четвертичные осадочные отложения Верхнезейской впадины (Вз); 2 – мезозойские осадочные отложения Южно-Алданской системы впадин: Чл – Чульманская, Тк – Токинская; 3 – позднепалеозойско-раннемезозойский Монголо-Охотский орогенный пояс; 4 – позднерифейский Аргунский супертеррейн; 5 – архей-палеопротерозойские метаморфические комплексы Алданского мегаблока; 6 – Селенга-Становой блок; 7–8 – архей-палеопротерозойские метаморфические комплексы Станового мегаблока: 7 – становой комплекс; 8 – высокоградный гранулитовый (блоки гранулитов: Бр – Брянтинский, Вт – Верхнетимптонский, Дб – Дамбукинский, Зв – Зверевский, Кл – Каларский, Лр – Ларбинский, Св – Сиваканотокский, Ст – Сутамский, Чг – Чогарский); 9 – мезозойские граниты Станового пояса; 10 – разломы: Д – Джелтулакский; 11 – границы Становой складчатой области, представленные сериями надвигов: П – Предстановая, Ю – Южностановая. Опорные профили: АБ – 3-ДВ; А₁В₁ – 8-ДВ (8-ДВ1 и 8-ДВ2 – раскладки соответственно 1 и 2) /

Fig. 1. Scheme of geological structure of Stanovoy folded region according to (Geological map of Amur region and adjacent areas, scale 1 : 2 500 000. Eds. L.I. Krasny, Peng Yungbiao. S.-P. VSEGEI. 1998), [Stogny et al., 2003] (with simplification) and position of reference profiles 3-DV and 8-DV: 1 – Cenozoic sedimentary deposits of the Upper Zeyskaya depression; 2 – Mesozoic sedimentary deposits of the South Aldan system of depressions: Chl – Chulmanskaya, Tk – Tokinskaya; 3 – late Paleozoic-early Mesozoic Mongol-Okhotsk orogenic belt; 4 – late Riphean Argun superterrane; 5 – Archean-Paleoproterozoic metamorphic complexes of the Aldan megablock; 6 – Selenga-Stanovoy block; 7–8 – Archean-Paleoproterozoic metamorphic complexes of the Stanovoy megablock: 7 – Stanovoy complex, 8 – high-grade granulite complex (granulite blocks: Br – Bryantinsky, Vt – Verkhnetimptonsky, Db – Dambukinsky, Zv – Zverevsky, Kl – Kalarsky, Lr – Larbinsky, Sv – Sivakanotoksky, St – Sutamsky, Chg – Chogarsky); 9 – Mesozoic granites of the Stanovoy belt; 10 – faults: D – Dzhehtulaksky; 11 – boundaries of the Stanovoy folded region, represented by a series of thrusts: P – Predstanovaya, Yu – Yuzhnostanovaya. Support profiles: AB – 3-DV; A₁B₁ – 8-DV (8-DV1 and 8-DV2 – layouts 1 and 2, respectively)

Становой пояс мезозойских гранитоидов. Мезозойские граниты и гранодиориты, широко развитые в пределах Станового мегаблока, составляют около 40% его площади. Массивы гранитоидов приурочены к осевым частям Северо-Даурского и Станового хребтов и обычно выделяются соответственно в Амазаро-Гилуиский пояс и Становой пояс гранитоидов.

Плитообразные массивы гранитоидов Станового пояса сформировались на глубине 9–20 км в начальной стадии коллизии Амурской и Восточно-Сибирской литосферных плит за счет частичного плавления на абиссальных уровнях, а затем и за счет полного переплавления вмещающих раннедокембрийских пород на мезо- и гипабиссальных уровнях глубинности, которые являлись для них протолитом, их возраст оценивается в 109–130 млн лет, при этом возраст кремнекислых разностей более древний [Антонов, Банковская, 2000].

Массивы гранитоидов Станового пояса имеют на эрозионном срезе округлую амeboобразную форму без направления преимущественной ориентации, площадь отдельных массивов достигает 2 тыс. км², а контакты их с вмещающими породами станового комплекса обычно постепенные.

Региональные неоднородности земной коры Станового мегаблока в материалах опорных геофизических профилей 3-ДВ и 8-ДВ

Местоположение опорных геофизических профилей 3-ДВ и 8-ДВ показано на схеме геологического строения (рис. 1).

Опорный геофизический профиль 3-ДВ. Профиль 3-ДВ начинается от Сквородино, в районе г. Тынды разворачивается в субмеридиональном направлении, и далее по трассе Амуро-Якутской автомагистрали проложен через пос. Малый Нимныр до пос. Томмот Южной Якутии, совпадая с опорным профилем МОВЗ Сквородино-Улу, пройденным в 1970-х гг. [Булин и др., 1972]. В исследуемом интервале (0–500 км, Сквородино-Малый Нимныр) профиль 3-ДВ полностью пересекает Становой мегаблок, в своей южной части ограниченный структурами Монголо-Охотского орогенного пояса, а с севера – структурами Алданского мегаблока (см. рис. 1).

Геофизические исследования опорного профиля 3-ДВ выполнены в 2008–2014 гг. сейсморазведкой методами МОВ-ОГТ, КМПВ, ГСЗ и электроразведкой методом МТЗ. Данные обработки и интерпретации сейсмических материалов, выполненные при различных подходах и используемом программном обеспечении, опубликованы в работах [Гошко и др., 2014; Диденко и др., 2013; Рудницкая и др., 2013]. На рисунке 2 приведен основной материал и геолого-геофизическая модель региональных неоднородностей земной коры изученной нами части профиля 3-ДВ: кривая аномалий силы тяжести в редукции Буге (плотность промежуточного слоя 2,67 г/см³) (рис. 2а); разрез роз-диаграмм элементарных отражающих площадок МОВ-ОГТ земной коры [Диденко и др., 2013] (рис. 2б); геолого-геофизический разрез земной коры по данным комплексной интерпретации (рис. 2в).

В качестве базового для выделения региональных сейсмических неоднородностей в разрезе земной коры южного сегмента опорного геофизического профиля 3-ДВ Сквородино-Малый Нимныр выбран разрез роз-диаграмм элементарных отражающих площадок МОВ-ОГТ из работы [Диденко и др., 2013], полученных при обработке исходных материалов пакетом WinLESSA по методике [Zlatopolsky, 1997] (рис. 2б).

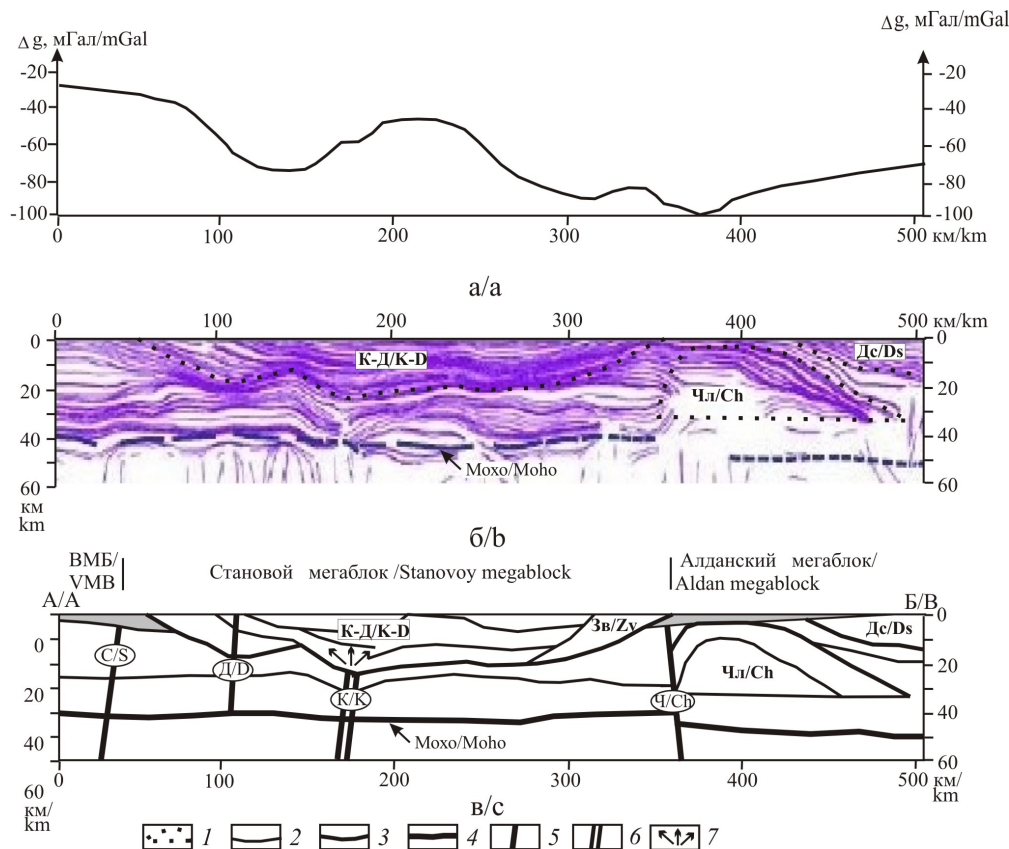


Рис. 2. Геолого-геофизические данные по линии АБ профиля 3-ДВ:

а – кривая силы тяжести Δg в редукции Буге; б – разрез роз-диаграмм элементарных отражающих площадок МОВ-ОГТ и граница Мохоровичича [Диденко и др., 2013] с элементами интерпретации; в – геолого-геофизический разрез земной коры по [Стогний, Стогний, 2021] с добавлениями.

1 – контуры выделенных сейсмических неоднородностей; 2 – границы резких неоднородностей плотности распределения роз-диаграмм элементарных отражающих площадок МОВ-ОГТ; 3 – граница верхней и нижней коры; 4 – граница Мохоровичича; 5 – региональные разломы: С – Северотуруринский, Ч – Чульманский, Д – Джелтулакский; 6 – межплитный Каларо-Чогарский (К) разлом; 7 – направления тектонических движений.

Региональные неоднородности земной коры: К-Д – Каларо-Джугджурская синформа, Зв – Зверевский блок раннедокембрийских гранулитов Станового мегаблока, Чл – мезозойская Чульманская зона разуплотнения, Дс – Деслегьерская синформа. ВМБ – Верхнеамурский мегаблок /

Fig. 2. Geological and geophysical data along the AB line of the 3-DV profile:

a – gravity curve in the Bouguer reduction; б – section of rose-diagrams of elementary reflecting areas of the reflection-CDP method and the Mohorovicic boundary [Didenko et al., 2013] with elements of interpretation; в – geological and geophysical section of the earth's crust according to [Stogny, Stogny, 2021] with additions. 1 – contours of identified seismic heterogeneities; 2 – boundaries of sharp heterogeneities in the distribution density of rose diagrams of elementary reflecting areas of the reflection-CDP method; 3 – boundary of the upper and lower consolidated crust; 4 – Mohorovicic boundary; 5 – regional faults: S – North Tukuringsky, Ch – Chulmansky, D – Dzheltulaksky; 6 – interplate Kalaro-Chogarsky (K) fault; 7 – directions of tectonic movements.

Regional heterogeneities of the earth's crust: K-D – Kalaro-Dzhugdzhur synform, Zv – Zverevsky block of early Precambrian granulites, Chl – Mesozoic Chulman decompression zone, Ds – Desleglier synform. VMB – Verkhneamursy megablock

В верхней части земной коры в интервале 60–350 км выделена Каларо-Джугджурская региональная сейсмическая неоднородность в виде синформы глубиной до 25 км. Ее характеризует насыщенность слоями роз-диаграмм элементарных от-

ражающих площадок МОВ-ОГТ высокой интенсивности, резко отличающейся от нижней части земной коры (до глубины ~40 км), представленной тонкослоистой волнообразной структурой с разрывом в интервале профиля 150–180 км. Деслегли-ерская синформа Алданского мегаблока (ее южная часть) выделяется в интервале профиля 440–500 км.

Каларо-Джугджурская синформа обладает повышенной расслоенностью, при этом главным структурообразующим при ее образовании, по-видимому, являлся Каларо-Чогарский межплитный разлом мантийного заложения, а Северотукурингский и Чульманский глубинные разломы ограничивают Становой мегаблок соответственно с юга и севера. Северным ограничением Каларо-Джугджурской синформы является Зверевский блок высокобарических гранулитов Станового мегаблока. Чульманская куполообразная структура Алданского мегаблока в своей нижней части очень однородна и практически не содержит роз-диаграмм элементарных отражающих площадок МОВ-ОГТ.

Аномалия силы тяжести Δg профиля 3-ДВ (см. рис. 2а) имеет отчетливо выраженный тренд уменьшения с юга на север, близкий к линейному с градиентом 10 мГал/100 км. В южной части профиля (интервал 70–170 км) выделяется крупная отрицательная аномалия интенсивностью до 30 мГал, обусловленная вероятно масштабной гранитизацией земной коры. Севернее, в интервале 170–250 км, положительной аномалией до 15–20 мГал выделяется Ларбинско-Чогарский пояс гранулитовых блоков. Примерно такой же положительной аномалией интенсивностью до 15–20 мГал выделяется Зверевский блок Каларо-Джугджурского пояса гранулитов в интервале 320–360 км. Расположенная севернее Чульманская куполообразная структура проявляется отрицательной аномалией силы тяжести интенсивностью до 20 мГал в интервале профиля 360–420 км.

Опорный геофизический профиль 8-ДВ. Профиль 8-ДВ (Восточно-Становой фрагмент) был отработан ГСЗ по методике точечных сейсмических зондирований, как и на профиле 3-ДВ [Диденко и др., 2013], двумя расстановками (см. рис. 1): расстановка 8-ДВ1 Ларба-Бомбак протяженностью 390 км и расстановка 8-ДВ2 Верхнезейск-Ульма протяженностью 500 км. Источниками возбуждения упругих колебаний служили взрывы зарядов весом 3–5 т, которые выполнялись в неглубоких водоемах и болотах, расстояние между ними составляло 20–40 км (на расстановке 1 было произведено 13 взрывов, на расстановке 2 – 16). Результаты интерпретации данных ГСЗ Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ, выполненные по стандартным методикам [Крылов и др., 1993], содержатся в [Соловьев и др., 2020, 2021].

На рисунке 3 показана кривая аномалий силы тяжести (редукции Буге, плотность промежуточного слоя 2,67 г/см³) (рис. 3а), сводный сейсмический разрез по Восточно-Становому фрагменту профиля 8-ДВ (в интервале 90–550 км) (рис. 3б) и схема распределения плотности структурно-вещественных комплексов (рис. 3в), полученная путем пересчета скорости упругих волн V_p в плотности на основе использования корреляционной зависимости скорость–плотность.

Интервал профиля 90–320 км соответствует расстановке 1 (направление 3-СЗ–В-ЮВ, в интервале 0–90 км отображается только верхняя часть разреза), а интервал профиля 320–550 км соответствует расстановке 2 (направление СЗ–ЮВ).

Скорости продольных упругих волн V_p верхней части земной коры изменяются в пределах 5.5–6.4 км/с, а ее нижней части – 6.4–7.0 км/с (см. рис. 3б). В интервале профиля 360–470 км в верхней приповерхностной части профиля выделяется

область низкоскоростной аномалии, обусловленная осадочными образованиями Верхнезейской впадины, а в интервале 500–530 км – высокоскоростная аномалия ($V_p \geq 7.0$ км/с) на глубине 12–18 км. Верхняя мантия (по [Соловьев и др., 2020]) неоднородна, ее граничные скорости могут изменяться в пределах 7.8–8.5 км/с, наибольшие значения (8.3–8.5 км/с) в интервале 170–280 км профиля, а наименьшие (7.8 ± 0.2 км/с) – в интервале 400–470 км профиля.

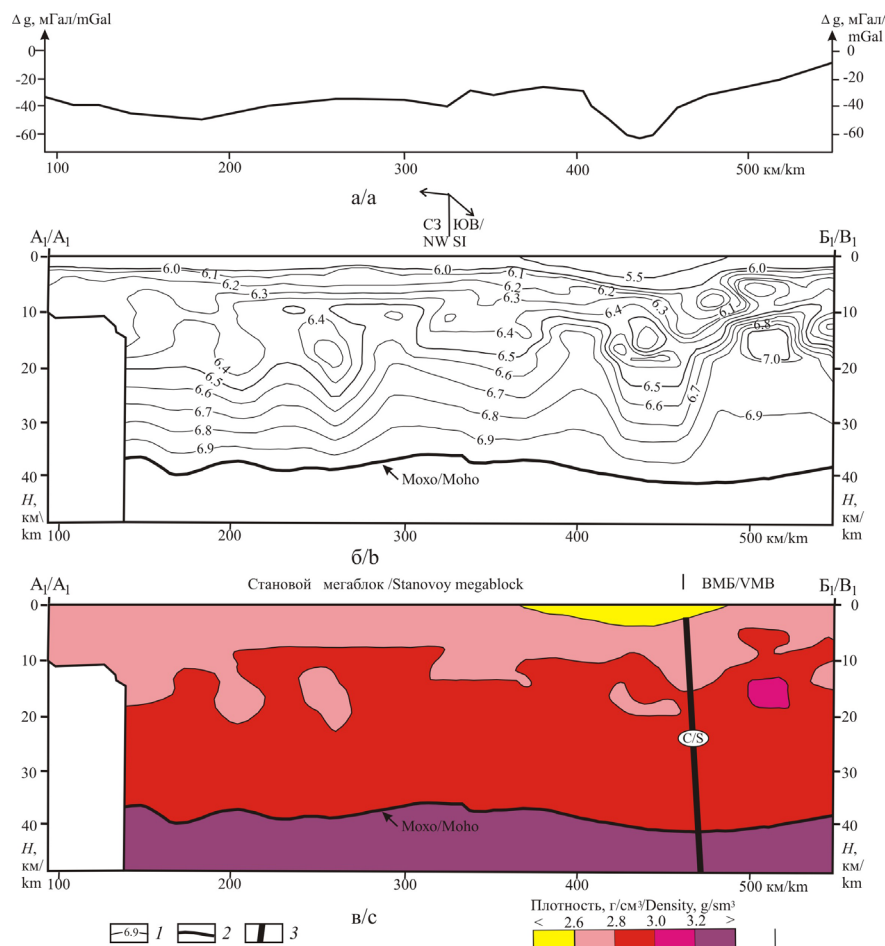


Рис. 3. Геолого-геофизические данные по линии A_1B_1 профиля 8-ДВ:

а – кривая силы тяжести Δg в редукции Буге; б – геолого-геофизический разрез земной коры Станового мегаблока сводного опорного профиля 8-ДВ (Восточно-Становой фрагмент) по [Соловьев и др., 2020], с упрощением; в – плотности структурно-вещественных комплексов. 1 – изолинии скорости продольных волн V_p (цифры – значения V_p в км/с); 2 – граница Мохоровичича; 3 – разломы (С – Северотукурингский). СЗ–ЮВ – направления отрезков (северо-запад–юго-восток) профиля 8-ДВ (расстановки 1 и 2). ВМБ – Верхнеамурский мегаблок /

Fig. 3. Geological and geophysical data along line A_1B_1 of profile 8-DV:

a – gravity curve in the Bouguer reduction; b – geological and geophysical section of the earth's crust of the Stanovoy megablock of the combined reference profile 8-DV (East-Stanovoy fragment) according to [Soloviev et al., 2020] with simplification; c – densities of structural-material complexes. 1 – isolines of longitudinal wave velocity (numbers are values V_p in km/s); 2 – Mohorovicic boundary; 3 – regional fault (N – North Tukuringsky). NW-SE – directions of segments (northwest – southeast) of profile 8-DV (arrangements 1 and 2). VMB – Verkhneamursy megablock

Средние глубины подошвы верхней части консолидированной коры с плотностью 2.6–2.8 г/см³ находятся в пределах 8–10 км, при этом отмечаются значительные их неоднородности (до глубин 20–22 км) в нижней части консолидирован-

ной коры (с плотностью 2.8–3.0 г/см³) на интервалах профиля 190–220, 250–280 и 420–460 км (см. рис. 3в). Плотностная неоднородность в интервале 500–530 км профиля (на глубине 12–18 км) обладает плотностью $\rho \geq 3.0$ г/см³, соответствующей плотности высокобарических гранулитов, и соотносится нами с Ларбинским блоком гранулитов средней коры.

Аномалия силы тяжести Δg профиля 8-ДВ (см. рис. 3а) имеет сложный характер, в котором отражаются плотностные неоднородности как земной коры, так и верхней мантии. Наиболее отчетливо проявляется отрицательной гравитационной аномалией (амплитудой до 20 мГал) Верхнезейская впадина на интервале профиля 400–460 км, выполненная осадочными терригенными образованиями.

Результаты и их обсуждение

Совместное рассмотрение и анализ геолого-геофизических материалов региона, главным объектом исследований которого является Становой мегаблок Алдано-Станового щита, и региональных неоднородностей земной коры в материалах обработки опорных геофизических профилей 3-ДВ и 8-ДВ, позволяет детализировать представления о его структуре и механизмах формирования.

Наиболее ярко в верхней части земной коры в материалах обработки данных МОВ-ОГТ по методике [Zlatopolsky, 1997] профиля 3-ДВ [Диденко и др., 2013] (см. рис. 2б) проявляется Каларо-Джугджурская региональная сейсмическая неоднородность в виде синформы глубиной до 25 км, имеющей складчато-надвиговую природу, сформированную в условиях жесткой мезозойской коллизии Амурской и Алданской литосферных плит.

В результате этого процесса в зоне Каларо-Чогарского межплитного разлома был сформирован Ларбинско-Чогарский пояс высокобарических гранулитов, проявляющихся в гравитационном поле положительными аномалиями гравитационного поля интенсивностью до 10–15 мГал, в их числе Нюкжинский, Ларбинский, Гилуйский, Брянтинский, Дамбукинский, Сивакано-Токский и Чогарский, которые являются маркерами местоположения межплитного разлома. Согласно [Балтыбаев и др., 2024], метаморфизм глиноземистых гнейсов Ларбинского блока соответствует условиям гранулитовой фации умеренных давлений (7–8 кбар, 800–850 °С).

Северная граница Станового подвижного пояса трассируется по Каларо-Джугджурскому поясу высокобарических гранулитов, проявляющихся положительными (интенсивностью до 15 мГал) аномалиями силы тяжести, в их числе Каларский, Зверевский, Верхнетимптонский и Сутамский блоки. К югу от Южностановой системы надвигов выделяется Тунгальский линейный максимум гравитационного поля протяженностью более 100 км и амплитудой до 15 мГал, приуроченный к северной части позднерифейского Аргунского супертеррейна.

В юго-восточной части Станового мегаблока Каларо-Чогарский межплитный разлом проходит практически параллельно профилю 8-ДВ1 (раскладка 1) и пересекает его структурно-вещественные комплексы на отрезке сводного профиля 8-ДВ в интервале 340–350 км (раскладка 2). Его влияние отражается в неоднородности верхнего слоя земной коры (до глубины 20–25 км) в виде региональных неоднородностей пониженной плотности, а в южной части профиля выделяется неоднородность, которая по плотностным характеристикам соответствует гранулитовому блоку (Ларбинскому), соответствующему образованиям нижней коры (см. рис. 3в).

Мезозойский возраст формирования структуры Станового подвижного пояса

обосновывается закрытием в конце средней юры восточной части Монголо-Охотского океана в результате аккреции Амурского супертеррейна к южной окраине Северо-Азиатского кратона [Тектоника ..., 2001]. При мезозойской коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов в результате тектонического срыва на уровне нижнего слоя земной коры блоки высокобарических гранулитов были выдвинуты в верхние ее части и сформировали Каларо-Джугджурский и Ларбинско-Чогарский субширотные пояса, ориентированные симметрично относительно оси межплитного Каларо-Чогарского разлома. В последующие циклы коллизии срывы на более высоких гипсометрических уровнях привели к выдвиганию гранулитов Амазарского пояса, а также покровов и чешуй станового комплекса. В результате среднеюрской коллизии по северному и южному обрамлению Станового пояса были сформированы Южно-Алданская система впадин на севере, самой крупной из которых является Чульманская, и Удская, Торомская и другие впадины на юге, к которым приурочены угленосные бассейны.

Обзор магматических комплексов юга Сибирского (Северо-Азиатского) кратона выполнен в [Donskaya, Gladkochub, 2021]. Становому поясу гранитоидов на схеме региональной составляющей поля силы тяжести в плане соответствует гравитационная ступень, отождествляемая нами с Каларо-Чогарской сутурой, которая является юго-восточным ограничением Северо-Азиатского кратона. Отдельные массивы мезозойских гранитоидов пояса не находят отражения в гравитационном поле, и частично выделяются в материалах крупномасштабных съемок малоинтенсивными аномалиями амплитудой 2–4 мГал.

В створе опорного профиля 3-ДВ границы Станового мегаблока представлены Северотукурингским литосферным разломом, отделяющим его от Верхнеамурского (Буреинского) мегаблока [Тектоника ..., 2005], а на севере Чульманским литосферным разломом, являющимся южной границей Алданского мегаблока. Джелтулакский коровый разлом, детально изученный [Горошко и др., 2010], с севера ограничивает Селенга-Становую орогенную область. Чульманская региональная сейсмическая неоднородность, соответствующая одноименной купольной структуре южной части Алданского мегаблока, в своей верхней части содержит субпараллельные элементарные отражающие площадки роз-диаграмм МОВ-ОГТ, указывающие на ее расслоенность, а ее нижняя часть (35–52 км) является практически гомогенной. В створе опорного профиля ГСЗ 8-ДВ Северотукурингский литосферный разлом разделяет области с пониженной ($2.6\text{--}2.8\text{ г/см}^3$) плотностью верхней части земной коры с глубиной до 15–20 км в пределах Станового мегаблока и до 10–15 км в пределах Верхнеамурского мегаблока.

Глубина границы Мохоровичича по профилю 3-ДВ в пределах Станового мегаблока изменяется от 40 до 42 км, увеличиваясь в южной части Алданского мегаблока до 45–52 км, при этом в южной части Чульманской купольной структуры эта граница не прослеживается, что соответствует так называемому «окну прозрачности мантии». Такие «окна прозрачности» характерны для докембрийских щитов [Carbonell et al., 2013; Cook et al., 2010], возможные механизмы взаимодействия мантия-кора и формирования кратонов обсуждаются в [Li et al., 2020]. По профилю 8-ДВ глубина границы Мохоровичича изменяется в пределах 37–40 км, увеличиваясь в зоне Северотукурингского литосферного разлома до 42 км.

Сопоставление моделей глубинного строения Центрального Кавказа [Шемпелев и др., 2017; Горбатилов и др., 2023; Стогний, Стогний, 2024] и Станового мега-

блока дает возможность сделать заключение, что наряду с некоторыми общими их особенностями есть и существенные различия, что обусловлено спецификой соответствующих коллизионных процессов и может быть предметом дальнейших исследований.

Выводы

1. В материалах опорного профиля 3-ДВ выделена Каларо-Джугджурская региональная сейсмическая неоднородность в виде синформы глубиной до 25 км с повышенной расслоенностью, отражающая структуру Станового подвижного пояса, южное и северное ограничения которого представлены соответственно Южностановой и Предстановой сериями надвигов.

2. В результате проведенных исследований обосновано, что основным структурообразующим элементом Станового мегаблока является Каларо-Чогарский межплитный разлом, в зоне которого в результате мезозойской коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов была сформирована структура Станового подвижного пояса, элементами которой являются Становой пояс массивов гранитов мезозойского возраста, а также субширотные протяженностью до 900 км пояса блоков высокобарических гранулитов, Каларо-Джугджурский и Ларбинско-Чогарский, ортогональные простирацию основных структур Алданского мегаблока.

3. Блоки гранулитов Ларбинско-Чогарского пояса, отражающиеся локальными положительными гравитационными аномалиями, могут служить маркерами местоположения Каларо-Чогарского межплитного разлома Станового мегаблока, ограниченного с юга и севера соответственно Северотукурингским и Чульманским литосферными разломами.

4. Плотностные неоднородности верхней и нижней частей опорного профиля 8-ДВ объясняются влиянием Каларо-Чогарского межплитного разлома, в зоне влияния которого он расположен.

5. Комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов региона исследований совместно с данными по опорным геофизическим профилям 3-ДВ и 8-ДВ позволила обосновать модель структуры земной коры Станового мегаблока.

6. Полученные материалы по глубинному строению Станового мегаблока могут быть положены в основу дальнейших исследований стилей коллизионных процессов при анализе их особенностей по сравнению с коллизионной структурой Большого Кавказа.

Литература

1. Антонов А.Ю., Банковская Э.В. Rb-Sr изотопная систематика мезозойских гранитоидов Станового хребта (южное обрамление Алданского щита). // В сборнике: Геохимические процессы и полезные ископаемые. Вестник ГеоИГУ. № 2. Иркутск: ИГТУ, 2000. – С. 163–172.
2. Балтыбаев Ш.К., Доливо-Добровольский Д.В., Юрченко А.В., Волкова Ю.Р., Мальчушкин Е.С. Гранулиты Ларбинского блока Джугджуро-Станового супертеррейна: реконструкция условий образования. // Геология и геофизика. – 2024. – № 9. – С. 1199–1220.
3. Булин Н.К., Афанасьева Н.А., Проняева Е.А., Эрглис Е.И. Глубинный разрез юго-востока Сибирской платформы и её складчатого обрамления по сейсмическим данным. // Советская геология. – 1972. – № 10. – С. 134–142.
4. Годзевич Б.Л. Стратиграфия архея юга Алдано-Станового щита. // В сборнике: Проблемы стратиграфии раннего докембрия Средней Сибири. М.: Наука, 1986. – С. 127–136.

5. Горбатилов А.В., Заалишвили В.Б., Харазова Ю.В., Степанова М.Ю., Милуков В.К., Миронов А.П., Хубаев Х.М., Мельков Д.А., Кануков А.С., Абаева З.В., Шманатов Г.В., Габараев А.Ф., Ревазов М.О. Глубинное строение, сейсмичность, тектоника северного фланга Большого Кавказа и Терско-Каспийского прогиба (Северная Осетия) в рамках единой кинематической модели на базе новых геофизических данных. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003.

6. Горошко М.В., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф. Джелтулакский разлом: глубинное строение, эволюция, металлогения. // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 38–54.

7. Гошко Е.Ю., Ефимов А.С., Сальников А.С. Современная структура и предполагаемая история формирования земной коры Юго-Востока Северо-Азиатского кратона вдоль опорного профиля 3-ДВ. // Геодинамика и тектонофизика. – 2014. – Т. 5. № 3. – С. 785–798.

8. Диденко А.Н., Ефимов А.С., Нелюбов П.А., Сальников А.С., Старосельцев В.С., Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Гурьянов В.А., Заможняя Н.Г. Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: профиль Сковородино-Томмот. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. № 10. – С. 1583–1599.

9. Красный Л.И. О тектонике и минерализации Восточной Сибири и Дальнего Востока. // Тектоника Сибири. Т. XI. Новосибирск: Наука, 1983. – С. 56–64.

10. Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р. и др. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах. Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.

11. Рудницкая Д.И., Старосельцев В.С., Сальников А.С. Построение макромоделей земной коры с применением Реапак-технологии по геотраверсу 3-ДВ (Восточная Сибирь). // Геофизика. – 2013. – № 1 – С. 19–26.

12. Соловьев В.М., Сальников А.С., Селезнев В.С., Кашубина Т.В., Галева Н.А. Особенности глубинного строения Восточно-Станового фрагмента опорного геолого-геофизического профиля 8-ДВ (по данным ГСЗ). // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 4. – С. 29–39.

13. Соловьев В.М., Сальников А.С., Селезнев В.С., Кашубина Т.В., Галева Н.А. Особенности сейсмического строения верхней коры Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей по данным разнополяризованных Р- и S-волн (в створе опорного профиля 8-ДВ). // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2021. – № 2. – С. 289–297.

14. Стогний В.В., Стогний Г.А. Глубинное строение и реологическая стратификация земной коры Центрального сегмента Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 2. – С. 6–22.

15. Стогний В.В., Стогний Г.А. Неоднородности земной коры Алдано-Станового щита по профилю 3-ДВ (Восточная Сибирь, Россия). // Геофизический журнал. – 2021. – Т. 43. № 3. – С. 27–46.

16. Стогний В.В., Стогний Г.А., Зедгенизов А.Н. Становой мегаблок Алдано-Станового щита: структура и эволюция. // Отечественная геология. – 2003. – № 3. – С. 64–66.

17. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). / Отв. редакторы Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.

18. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. / Отв. редакторы Л.П. Карсаков, Чжао Чуньцзин, М.В. Горошко и др. – Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 264 с.

19. Хераскова Т.Н., Яковлев Д.В., Пиманова Н.Н., Березнер О.С. Строение Алданского щита и зоны его сочленения с Центрально-Азиатским складчатым поясом по геофизическим данным интерпретации трансектов «3-ДВ» и «Тында-Амурзет». // Геотектоника. – 2018. – Т. 52. № 1. – С. 3–27.

20. Шемпелев А.Г., Чотчаев Х.О., Кухмазов С.У. Данные глубинных геофизических исследований вдоль Чегемского профиля (Центральный блок, Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 2. – С. 129–134.

21. Шульдинер В.И., Панченко И.В., Шульдинер И.С. Петрология метаморфических комплексов бассейна р. Нюкжи. // *Метаморфизм докембрия района Байкало-Амурской магистралей*. Л.: Наука, 1983. – С. 127–139.
22. Carbonell R., Levander A., Kind R. The Mohorovičić discontinuity beneath the continental crust: An overview of seismic constraints. // *Tectonophysics*. – 2013. – Vol. 609. – pp. 353–376.
23. Cook F.A., White D.J., Jones A.G., Eaton D.W.S., Hall J., Clowes R.M. How the crust meets the mantle: Lithoprobe perspectives on the Mohorovičić discontinuity and crust–mantle transition. // *Canadian Journal of Earth Sciences*. – 2010. – Vol. 47. – pp. 315–351.
24. Donskaya T.V., Gladkochub D.P. Post-collisional magmatism of 1.88–1.84 Ga in the southern Siberian Craton: An overview. // *Precambrian Research*. – 2021. – Vol. 367. – Art. No. 106447.
25. Li D., Hollings P., Chen H., Sun X., Tan C., Zurevinski S. Zircon U–Pb and Lu–Hf systematics of the Western Superior craton, Canada: mantle–crust interaction and mechanism(s) of craton formation. // *Gondwana Research*. – 2020. – Vol. 78. – pp. 231–277.
26. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA. // *Computers and Geosciences*. – 1997. – Vol. 23. – No. 1. – pp. 45–62.

References

1. Antonov A.Yu., Bankovskaya E.V. Rb–Sr isotope systematics of Mesozoic granitoids of the Stanovoy Range (southern framing of the Aldan Shield). In: *Geochemical Processes and Mineral Resources*. Vestnik GeoISU. Irkutsk. ISTU. 2000. pp. 163–172. (In Russ.)
2. Baltybaev Sh.K., Dolivo-Dobrovolsky D.V., Yurshenko A.V., Volkova Yu.R., Malchushkin E.S. Granulite of the Larba block of the Dzhugdzhur-Stanovoi Superterrane: Reconstruction of the Formation Conditions. *Russian Geology and Geophysics*. 2024. No. 9. pp. 1199–1220. (In Russ.)
3. Bulin N.K., Afanasyeva N.A., Pronyaeva E.A., Erglis E.I. Deep section of the southeast of the Siberian platform and its folded frame according to the seismic data. *Sovetskaya geologiya*. 1972. No. 10. pp. 134–142. (In Russ.)
4. Godzevich B.L. Archean stratigraphy of the Aldan-Stanovoy shield. In: *Problems of early Precambrian stratigraphy of Central Siberia*. Moscow. Nauka. 1986. pp. 127–136. (In Russ.)
5. Gorbatikov A.V., Zaalishvili V.B., Kharazova Yu.V., Stepanova M.Yu., Milyukov V.K., Mironov A.P., Khubaev Kh.M., Melkov D.A., Kanukov A.S., Abaeva Z.V., Shmanatov G.V., Gabaraev A.F., Revazov M.O. Deep structure, seismicity, tectonics of the northern flank of the Greater Caucasus and the Terek-Caspian trough (North Ossetia) within the framework of a unified kinematic model based on new geophysical data. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003. (In Russ.)
6. Goroshko M.V., Kaplun V.B., Malyshev Yu.F. The Dzheltulak fault: deep structure evolution and metallogeny. *Lithosphere*. 2010. No. 6. pp. 38–54. (In Russ.)
7. Goshko E.Yu., Efimov A.S., Salnikov A.S. The recent structure and the assumed history of formation of the crust in the south-eastern segment of the North Asian Craton along Reference Profile 3-DV. *Geodynamics and Tectonophysics*. 2014. Vol. 5. No. 3. pp. 785–798. (In Russ.)
8. Didenko A.N., Efimov A.S., Nelyubov P.A., Salnikov A.S., Staroseltsev V.S., Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Gur'yanov V.A., Zamozhnyaya N .G. Structure and evolution of the Earth's crust in the region of junction of the Central Asian Fold Belt and the Siberian platform: Skovorodino-Tommot profile. *Russian Geology and Geophysics*. 2013. Vol. 54. No. 10. pp. 1583–1599. (In Russ.)
9. Krasny L.I. On tectonics and minerageny of Eastern Siberia and the Far East. *Tectonics of Siberia*. Vol. XI. Novosibirsk. Nauka. 1983. pp. 56–64. (In Russ.)
10. Krylov S.V., Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R. et al. Detailed seismic studies of the lithosphere on P- and S-waves. Novosibirsk. Nauka. 1993. 199 p. (In Russ.)
11. Rudnitskaya D.I., Staroseltsev V.S., Salnikov A.S. Construction of a macromodel of the Earth's crust using Reapak technology based on 3-DV geotraverse (Eastern Siberia). *Geophysics*. 2013. No. 1. pp. 19–26. (In Russ.)

12. Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., Kashubina T.V., Galyova N.A. Depth structure features of the eastern Stanovoy fragment of the 8-DV geological-geophysical survey-base line (according to the DSS data). *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2020. No. 4. pp. 29–39. (In Russ.)
13. Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., Kashubina T.V., Galyova N.A. Features of the seismic structure of the Earth's crust of the Selenga-Stanovoy and Amur folded regions according to data from multipolar P- and S-waves (in the alignment of the 8-DV reference profile). *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2021. No. 2. pp. 289–297. (In Russ.)
14. Stogny V.V., Stogny G.A. Deep structure and rheological stratification of the Greater Caucasus Central segment Earth's crust. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 2. pp. 6–20. (In Russ.)
15. Stogny V.V., Stogny G.A. Inhomogeneities of the Earth's crust of the Aldan-Stanovoy Shield along the 3-DV profile (Eastern Siberia, Russia). *Geophysical journal*. 2021. Vol. 43. No. 3. pp. 27–46. (In Russ.)
16. Stogny V.V., Stogny G.A., Zedgenizov A.N. Stanovoy megablock of the Aldan-Stanovoy shield: structure and evolution. *Otechestvennaya Geologiya*. 2003. No. 3. pp. 64–66. (In Russ.)
17. Tectonics, Geodynamics, and Metallogeny of the Republic Sakha (Yakutia). Eds. L.M. Parfenov, M.I. Kuzmin. Moscow. MAIK "Nauka/Interperiodika". 2001. 571 p. (In Russ.)
18. Tectonics, deep structure, metallogeny of the Central Asian – Pacific belts junction area. Eds. L.P. Karsakov, Zhao Chunjin, M.V. Goroshko et al. Vladivostok. Khabarovsk. FEB RAS. 2005. 264 p. (In Russ.)
19. Kheraskova T.N., Yakovlev D.V., Pimanova N.N., Berezner O.S. Conjugation with the Central Asian foldbelt: interpretation of the 3DV and Tynda–Amurzet transeks. *Geotectonics*. 2018. Vol. 52. No. 1. pp. 3–27. (In Russ.)
20. Shempelev A.G., Chotchaev H.O., Khuhmazov S.U. Data of deep geophysical surveys along Chegem profile (Central block, Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. No. 2. pp. 129–134. (In Russ.)
21. Shuldiner V.I., Panchenko I.V., Shuldiner I.S. Petrology of metamorphic complexes of the Nyukzha River basin. Precambrian metamorphism of the Baikal-Amur Mainline area. Leningrad. Nauka. 1983. pp. 127–139. (In Russ.)
22. Carbonell R., Levander A., Kind R. The Mohorovičić discontinuity beneath the continental crust: An overview of seismic constraints. *Tectonophysics*. 2013. Vol. 609. pp. 353–376.
23. Cook F.A., White D.J., Jones A.G., Eaton D.W.S., Hall J., Clowes R.M. How the crust meets the mantle: Lithoprobe perspectives on the Mohorovičić discontinuity and crust–mantle transition. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2010. Vol. 47. pp. 315–351.
24. Donskaya T.V., Gladkochub D.P. Post-collisional magmatism of 1.88–1.84 Ga in the southern Siberian Craton: An overview. *Precambrian Research*. 2021. Vol. 367. Art. No. 106447.
25. Li D., Hollings P., Chen H., Sun X., Tan C., Zurevinski S. Zircon U–Pb and Lu–Hf systematics of the Western Superior craton, Canada: mantle–crust interaction and mechanism(s) of craton formation. *Gondwana Research*. 2020. Vol. 78. pp. 231–277.
26. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA. *Computers and Geosciences*. 1997. Vol. 23. No. 1. pp. 45–62.