

УДК 551.24.01 (571.61/64)

СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ОХОТОМОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР

© 2017 г. Е. Г. Иволга, Ю. Ф. Манилов, Н. П. Романовский, В. Г. Гурович

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

Поступила в редакцию 30.06. 2016 г.; принята к печати 27.12.2016 г.

Информация о строении литосферы и сочленения Ульинской вулкано-тектонической структуры (ВТС) Охотско-Чукотского вулканического пояса и тектонических структур Охотского моря имеет как фундаментальное значение – для понимания тектоники и геодинамики на окраине континента, так и практическое – для оценки металлогенического потенциала территории, прежде всего на золото. Основным предметом настоящих исследований явилось изучение глубинных неоднородностей и дизъюнктивной тектоники с целью уточнения блокового строения литосферы региона. Создание глубинной основы выполнено путем комплексной интерпретации геофизических данных (карты гравитационного и магнитного полей), профильные данные ГСЗ северо-восточного участка профиля 3-ДВ (Сквородино–Томмот–Хандыга–Мякит), петрофизической (петроплотностные и петромагнитные данные) и геологической информации. Основным инструментом обработки данных геопотенциальных полей явилась компьютерная технология “КОСКАД 3D” предназначенная для обработки трехмерной цифровой геoinформации методами вероятностно-статистического анализа. Рассчитаны 3 типа объемных моделей гравитационного поля до глубины 90 км: 3D распределение низкочастотных характеристик; 3D распределение высокочастотных характеристик; плотностные 3D модели. Анализ петрофизической информации проведен на формализованной основе с последующим составлением специализированных петроплотностных и петромагнитных карт. Полученные 3D модели позволили построить разрезы и срезы составляющих поля силы тяжести литосферы на разных глубинных уровнях. Картографические геофизические и петрофизические материалы легли в основу карты разрывной тектоники региона. Основные разрывные нарушения ранжированы по направлению (северо-восточные, северо-западные, субширотные, субмеридиональные), по глубине заложения (мантийные, нижнекоровые, среднекоровые, верхнекоровые, приповерхностные), по их специализации (блокразделяющие, магмоподводящие). Согласно плотностной модели мантийная часть литосферы как для континента, так и для Охотского моря достаточно плотная. В земной коре Джугджуро-Охотская и Монголо-Охотская системы разломов делят континентальную часть территории на три области: высокоплотные – западную и восточную (прибрежную), и центральную – пониженной плотности. Джугджуро-Охотская северо-восточная система нарушений является региональной границей между плотной и разуплотненной литосферой на континенте. В геологическом отношении ее можно рассматривать как границу древней (юрско-меловой) палеосубдукции, в процессе которой сформировался пояс гранитизированной разуплотненной литосферы. Граница сочленения морских и континентальных структур не совпадает с береговой линией: морские структуры воздымаются под континент, что указывает на коллизию Охотоморской и Евразийской плит. Вероятно, юрско-меловой субдукционный режим на окраине Евразийской плиты в кайнозойское сменился коллизионным, в результате которого Ульинская ВТС была разделена северо-западными нарушениями на поперечные блоки. Последовавший за этим внутриплитный окраинный рифтогенез привел к тому, что по Прибрежному (Монголо-Охотскому) разлому произошло “наполнение” континентальных отложений на “морские” тектонические структуры. Результаты выполненных исследований позволили лучше понять природу взаимодействия тектонических структур юго-западной окраины Охотского моря. Разноглубинные схемы разломной тектоники и трансформант гравитационного поля могут быть использованы для палинспастических реконструкций. Построенные петрофизические карты имеют перспективы дальнейшего многофункционального применения. Полученная структурная основа может стать фундаментом изучения закономерностей формирования месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: гравитационное поле, петроплотностные неоднородности, дизъюнктивные нарушения, деструкция литосферы, очаговая структура

Для цитирования: Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф., Романовский Н.П., Гурович В.Г. (2017) Строение литосферы области сочленения охотоморских и континентальных тектонических структур. *Литосфера*, 17(4). 120-136. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-120-136

For citation: Ivolga E.G., Manilov Yu.F., Romanovskii N.P., Gurovich V.G. (2017) The structure of the lithosphere in area of junction between the Okhotsk sea and the continental tectonic structures. *Litosfera*, 17(4), 120-136. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-4-120-136

THE STRUCTURE OF THE LITHOSPHERE IN AREA OF JUNCTION BETWEEN THE OKHOTSK SEA AND THE CONTINENTAL TECTONIC STRUCTURES

Ekaterina G. Ivolga, Yury F. Manilov, Nikolai P. Romanovskii, Venera G. Gurovich

Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of RAS, 65 Kim Yu Chen St., Khabarovsk, Russia, 680000, e-mail: Ymanilov@itig.as.khb.ru

Received 30.06.2016; accepted 27.12.2016

The area of junction of the Ul'in volcano-tectonic structure of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt and tectonic structures of Okhotsk Sea has both fundamental interest – for understanding tectonics and geodynamics on the outskirts of the continent, and practical – for assessing the metallogenic potential of the territory, primarily for gold. The main subject of the present studies was the deep inhomogeneities and disjunctive tectonics, clarification of the block structure of the lithosphere. The creation of a deep base was carried out by means of a complex interpretation of geophysical data (maps of gravity and magnetic fields), data of the Deep Seismic Sounding profile of the north-eastern section of the 3-DV profile (Skovorodino–Tommot–Khandyga–Myakit), geophysical and geological information. The main tool for geopotential fields data processing was the computer technology “KOSKAD 3D” intended for processing of three-dimensional digital geoinformation by the methods of probability-statistical analysis. Three types of 3D gravity field models up to a depth of 90 km are calculated: 3D distribution of low-frequency characteristics; 3D distribution of high-frequency characteristics; density 3D models. An analysis of petrophysical information was carried out on a formalized basis with subsequent compilation of specialized petrodensity and petromagnetic maps. The obtained 3D models allowed to construct sections and slices of the gravity field components, density of the lithosphere at different depth levels. Cartographic, geophysical and petrophysical materials formed the basis for a map of faulty tectonics in the region. The main disruptive disorders are ranked in the direction (northeastern, northwestern, sublatitudinal, submeridional), by the depth of deposition (mantle, lower crust, medium-crustal, upper crustal, near-surface), by their specialization – (blocking, magma-leading). According to the density model, the mantle part of the lithosphere is dense enough both for the continent and for the Okhotsk Sea. In the earth's crust, the Dzhugdzhur-Okhotsk and Mongol-Okhotsk fault systems divide the continental part of the territory into three regions: high-density – western and eastern (coastal), and central – decompressed ones. The Dzhugdzhur-Okhotsk northeastern system of disturbances is a regional boundary between a dense and reduced density lithosphere on the continent. Geologically, it can be regarded as the boundary of the ancient (Jurassic-Cretaceous) paleosubduction, during which a belt of a granitized decompressed lithosphere formed. The boundary of the junction of marine and continental structures does not coincide with the coast line: marine structures rise under continent, indicating a collision between the Okhotsk Sea and the Eurasian plate. Probably, the Jurassic-Cretaceous subduction regime on the outskirts of the Eurasian plate was replaced by a collision one in the Cenozoic, as a result of which the Ul'in volcano-tectonic structure was divided by northwestern faults into transverse blocks. The subsequent intraplate marginal rifting caused the Coastal (Mongol-Okhotsk) fault to “creep” of continental deposits onto “marine” tectonic structures. The results of the performed studies made it possible to better understand the nature of the interaction of the tectonic structures of the southwestern margin of the Okhotsk Sea. The deep-seated schemes of fault tectonics and the transformant of the gravitational field can be used for palinspastic reconstructions. The constructed petrophysical maps have prospects for further multi-functional application. The received structural basis can become the basis of studying laws of formation of mineral deposits.

Keywords: *gravity field, petrodensity inhomogeneities, disjunctive faulting, destruction of the lithosphere, chamber structure*

Acknowledgments

Research performed with the support of grant FEB RAS (Project No15-1-2-068).

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемая в работе территория является областью сочленения Ульинской вулканотектонической структуры (ВТС), Охотско-Чукотского вулканического пояса и прилегающей охотоморской акватории (рис. 1). Знание глубинных особенностей литосферы является ключевым для понимания тектоники, геодинамики и металлогении этой территории. Регион является перспективным на поиски золоторудного и свинцовоцинкового оруденений. В его пределах выявлены 9 месторождений золота и большое количество рудных проявлений.

К настоящему времени опубликованы многочисленные работы, посвященные тектонике и ме-

таллогении региона [Белый, 1977; Варнавский, 1994; Объяснительная записка... 2000; Парфёнов и др., 2003; Тектоника..., 2005; Геодинамика..., 2006]. Достаточно детальное изучение проводилось в процессе геологических съемок масштаба 1 : 1 000 000–1 : 200 000 и крупнее. В результате этих исследований получено фациальное расчленение вулканических образований разреза, выделена целая серия субвулканических построек, создана подробная карта разрывной тектоники, различные материалы, характеризующие строение литосферы [Геологическая карта, 1986]. Сложности возникли при изучении структуры и состава глубинного фундамента самого Охотско-Чукотского пояса. Природа и особенности взаимодействия пояса с охотоморскими тектоническими элементами, по-

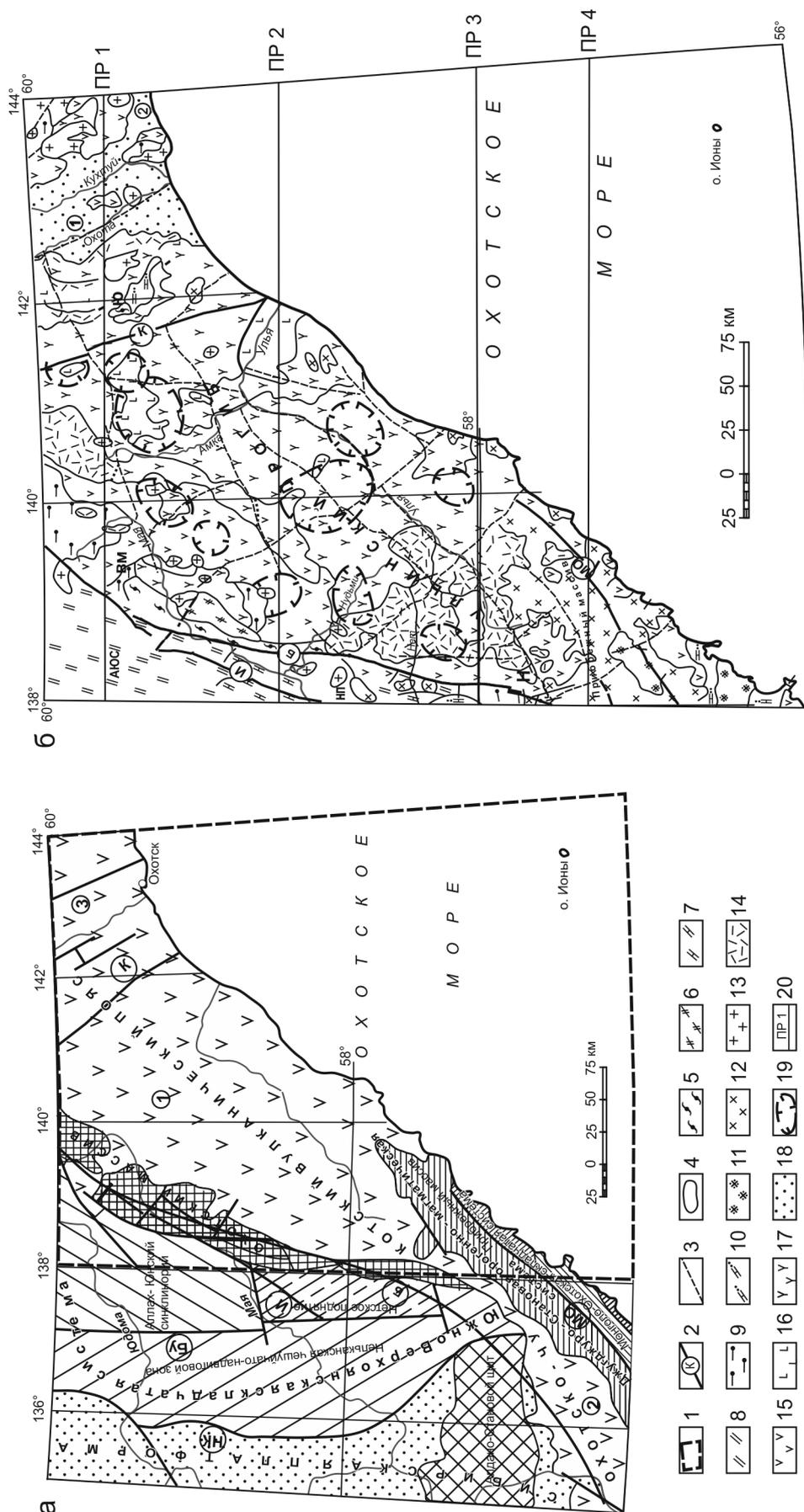


Рис. 1. Тектоническое положение и геологическое строение северо-западной части Приохотья. а. Схема геологического строения. б. Схематическая геолого-структурная карта. По материалам [Геологическая карта..., 1986; Физическая карта..., 1987; Геодинамика..., 2006].

1 – граница изученной территории; 2 – главные разломы; 3 – основные разломы, выделенные на Геологической карте; 4 – геологические границы разных тектонических структур и комплексов пород; 5–9 – образования Верхояно-Кольмской складчатой области; 5 – выступы докембрийского кристаллического фундамента; 6 – выступы докембрийского кристаллического фундамента; 7 – терригенно-карбонатные осадочные породы; 7 – терригенно-карбонатные осадочные породы; 8 – преимущественно терригенные образования (С₁–Р₂) Аллах-Юнского синклиория (АЮС); 9 – роза, кембрия, ордовика, силура (РР₂–S) Нетского поднятия (НП); 10 – терригенно-карбонатные образования (РР₂–D) Аянского антиклинория Монголо-Охотской складчатой системы; 11 – гранитоиды раннемеолового возраста удского комплекса (γ₁, γδК_{1(и)}); 12 – гранитоиды ранне-позднемеолового возраста джугджурского комплекса (γ₁, γδК_{1,2(d)}) – Прибрежный массив; 13 – гранитоиды позднемеолового возраста – γК₂; 14–17 – вулканогенные образования Ульинского (1), Удекого (2) межгорных прогибов и Охотско-Гусинского поднятия (3) (цифры в кружках на схеме); 14 – кислые, 15 – средние, 16 – основные, 17 – смешанные, 18 – неоген-четвертичные отложения континентальных впадин; 1 – Охото-Кухтуйская, 2 – Мареканская (цифры в кружках на карте); 19 – вулканоплутонические структуры; 20 – расчетные интратеррационные профили.

Fig. 1. The tectonic position and geological structure of the northwestern part of Priokhotya. a. The scheme of the tectonic structure. б. Schematic geological-structural map. Based on the materials [Geological Map..., 1986; Physical properties..., 1987; Geodynamics..., 2006].

1 – the boundary of the studied territory; 2 – the main faults: НК – Nelkan-Kyllakh, Бу – Buryakchan, И – Iotkansky, MO – Mongol-Okhotsk, К – Ketandinsk; 3 – the faults identified on the Geological Map; 4 – geological boundaries of different tectonic structures and rock complexes; 5–9 – formations of the Verkhoysk-Kolymsk folded region; 5 – ledges of the Precambrian crystalline basement: BM – Verkhne-Mayskii, H – Nalbandinskii, Ю – Yurovskiy; 6 – Lower Proterozoic metamorphosed sedimentary and volcanogenic-sedimentary rocks; 7 – terrigenous-carbonate deposits of the Upper Proterozoic, Cambrian, Ordovician, Silurian (PR₂-S) Netsky Uplift (HI); 8 – predominantly terrigenous formations (C–P₂) Allah-Yunskii synclinorium (AIUC); 9 – granitoids of the Early Cretaceous age of the Uda complex (γ₁, γδK_{1,u}); 12 – granitoids of the Early Late Cretaceous age of the Diugdir complex (γ₁, γδK_{1-2,d}) – Pribrezhnyi massif; 13 – granitoids of late Cretaceous age – γK₂; 14–17 – Volcanogenic formations of Ula (1), Uda (2) intermountain troughs and Okhotsk-Gusinsk uplift (3) (figures in circles on the diagram): 14 – acidic, 15 – medium, 16 – basic, 17 – mixed composition; 18 – Neogene-Quaternary deposits of continental depressions: 1 – Okhoto-Kukhtuysk, 2 – Marekansky (figures in circles on the map); 19 – volcanic-plutonic structures; 20 – calculated interpretation profiles.

прежнему остаются дискуссионными, в связи с недостаточной глубиной изученностью.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель настоящих исследований состоит в уточнении строения литосферы и разрывной тектоники изучаемой территории посредством анализа геологических, геофизических и петрофизических материалов.

Основные тектонические элементы показаны на прилагаемой тектонической схеме (см. рис. 1а). Она представляет собой сложный структурный узел, где сочленяются Верхояно-Колымская, Монголо-Охотская складчатые области, Джугджуро-Становая орогенно-магматическая система (Становая гранит-зеленокаменная область [Тектоника..., 2005]), на которые наложен Охотско-Чукотский вулканический пояс. На востоке территория граничит с впадиной Охотского моря.

Верхояно-Колымская складчатая область на севере и северо-западе рассматриваемой территории представлена Южно-Верхоянской складчатой системой и Охотским срединным массивом, граница между которыми проходит по близмеридиональной зоне Билякчанского глубинного разлома.

Южно-Верхоянская складчатая система включает Нётское поднятие и Аллах-Юнский синклиорий.

Нётское поднятие представлено своим восточным флангом, располагающимся в южной части Южно-Верхоянской складчатой системы между Иотканским и Билякчанским разломами. Это система блоков различного размера, сложенных верхнепротерозойскими и палеозойскими отложениями мощностью до 9–12 км, в которых наблюдается резкое изменение фаций, особенно в нижнем кембрии. За пределами изучаемой площади поднятие отделено от Аллах-Юнского синклиория зоной близширотного Урахаинского скрытого разлома.

В строении *Аллах-Юнского синклиория* принимают участие два комплекса пород, согласно залегающие друг на друге. Нижний, мощностью 4–5 км, представлен карбонатами нижнего и среднего палеозоя, верхний – терригенной флишеподобной толщей верхоянского комплекса (карбон-пермь), мощностью от 5 км на юге до 7–9 км на севере. Для Аллах-Юнского синклиория характерна линейная складчатость, а среди разломов преобладают нарушения субмеридионального и субширотного направлений (Урахаинская, Кондеро-Нётская позднепротерозойские зоны), менее развиты разрывы северо-западной ориентировки.

Охотский срединный массив почти полностью перекрыт вулканитами Охотско-Чукотского пояса. На западе он ограничен зоной Билякчанского глубинного разлома, (крутой взброс с амплитудой до 7–9 км), по которому нижнепротерозой-

ский кристаллический фундамент выведен на поверхность. Также имеются небольшие выходы архейских метаморфических образований (Верхнемайское, Юровское, Налбандинское поднятия). По составу, фациям метаморфизма, степени гранитизации и характеру дислокаций они практически не отличаются от метаморфического комплекса, слагающего фундамент Сибирской платформы. Нижнепротерозойские образования Билякчанской зоны представлены вулканогенно-терригенными формациями, метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации (сопоставимы с зеленокаменными троговыми комплексами западной части Алданского щита), прорваны многочисленными интрузиями мезозойских гранитоидов.

Джугджуро-Становая орогенно-магматическая система представлена своим восточным окончанием, ограничена Южно-Алданским (Преддзугджурским) и Монголо-Охотским глубинными разломами, сложена исключительно магматическими образованиями. К юго-западу от изучаемой площади размещается Джугджурский трещинный массив архейских анортозитов, прорванных мезозойскими гранитами. В пределах площади выделяется крупный Прибрежный массив меловых гранитоидов, по-видимому, представляющий собой огромное сложно построенное трещинное тело длиной 200 км и шириной 70 км. В провисах кровли массива распространены меловые вулканические образования. Для него типичны нарушения северо-восточного направления, параллельные Южно-Алданскому и Монголо-Охотскому разломам. Амплитуды перемещения по ним достигают 1 км. Менее развиты дизъюнктивы северо-западного направления, это сбросы и сдвиги с амплитудами не более первых сотен метров.

Монгол-Охотская складчатая система представлена своим восточным окончанием, а именно *Аянским антиклинорием*, размещающимся между Монголо-Охотским разломом и побережьем Охотского моря полосой 15–25 км (см. рис. 1а). В строении Аянского антиклинория принимают участие верхнепротерозойские и палеозойские терригенно-карбонатные отложения, прорванные телами палеозойских габброидов и гранитов, мезозойских гранитоидов, имеющих форму трещинных интрузий. Общая мощность осадочных сложно дислоцированных отложений достигает 7.5 км.

Разрывные нарушения представлены взбросами и сбросами северо-восточного направления, принадлежащими системе Монголо-Охотского разлома. Амплитуды перемещения по ним достигают 1 км. Менее распространены сбросы северо-западной ориентировки с амплитудой не более 100–200 м.

Охотско-Чукотский вулканический пояс представляет собой систему вулканических прогибов, сформировавшихся в субаэральных условиях и вытянутых в северо-восточном направле-

нии согласно общему простиранию пояса. В пределах описываемой территории располагается Ульяновский прогиб, протяженностью 370 км и максимальной шириной 150 км, выполненный вулканогенными толщами мощностью 3.5 км. На юге он заканчивается Прибрежным поперечным поднятием, по существу, представленным Прибрежным массивом меловых гранитоидов, который отделяет Ульяновский прогиб от Преддзугджурского. В пределах Прибрежного поднятия вулканогенные образования слагают узкую (2–5 км) полосу северо-восточного простирания. На крайнем востоке, на левобережье р. Кухтуй, находится фрагмент Охото-Гусинского поперечного поднятия, большая часть которого расположена восточнее (см. рис. 1а). Здесь также широко распространены меловые гранитоиды.

В формационном отношении прогиб построен следующим образом: в основании залегают нижнемеловые толщи преимущественно андезитового состава (учуликанская и ульбериканская свиты), которые развиты, главным образом, в северо-западном борту прогиба. Выше залегают наиболее широко распространенные вулканогенные образования смешанного состава (еманринская свита), слагающие центральные и юго-восточные его части. Вверх по разрезу вулканыты еманринской свиты сменяются продуктами кислого и щелочного вулканизма (верхнеамкинская толща и тунумская свита). Завершается разрез ограниченно распространенными верхнемеловыми-палеогеновыми покровами базальтов (хакаринская свита). Широко развиты субвулканические и жерловые образования различного состава, слагающие неки, штоки, лакколитоподобные тела, экструзивные купола и дайки (см. рис. 1б).

Отрицательные вулканоструктуры, вероятно, обусловлены проседаниями и обрушениями верхних горизонтов земной коры над магматическими камерами, опустошенными в результате вулканической деятельности. Значительно реже встречаются положительные куполовидные вулканотектонические структуры, возникшие, вероятно, над крупными субвулканическими телами, не достигшими поверхности. Они также ограничены кольцевыми и дуговыми разломами и трещинами. Диаметр их достигает 15–20 км.

На северо-востоке территории расположены **Охото-Кухтуйская и Мареканская орогенные впадины**, выполненные слабо сцементированными и рыхлыми неоген-четвертичными, практически горизонтально залегающими отложениями. Охото-Кухтуйская впадина отделяет Ульяновский прогиб от Охото-Гусинского поднятия (рис. 1, 2).

Разрывные нарушения представлены на рис. 3. Наиболее крупными и протяженными являются разломы северо-восточного направления, которые считаются основными магмоподводящими канала-

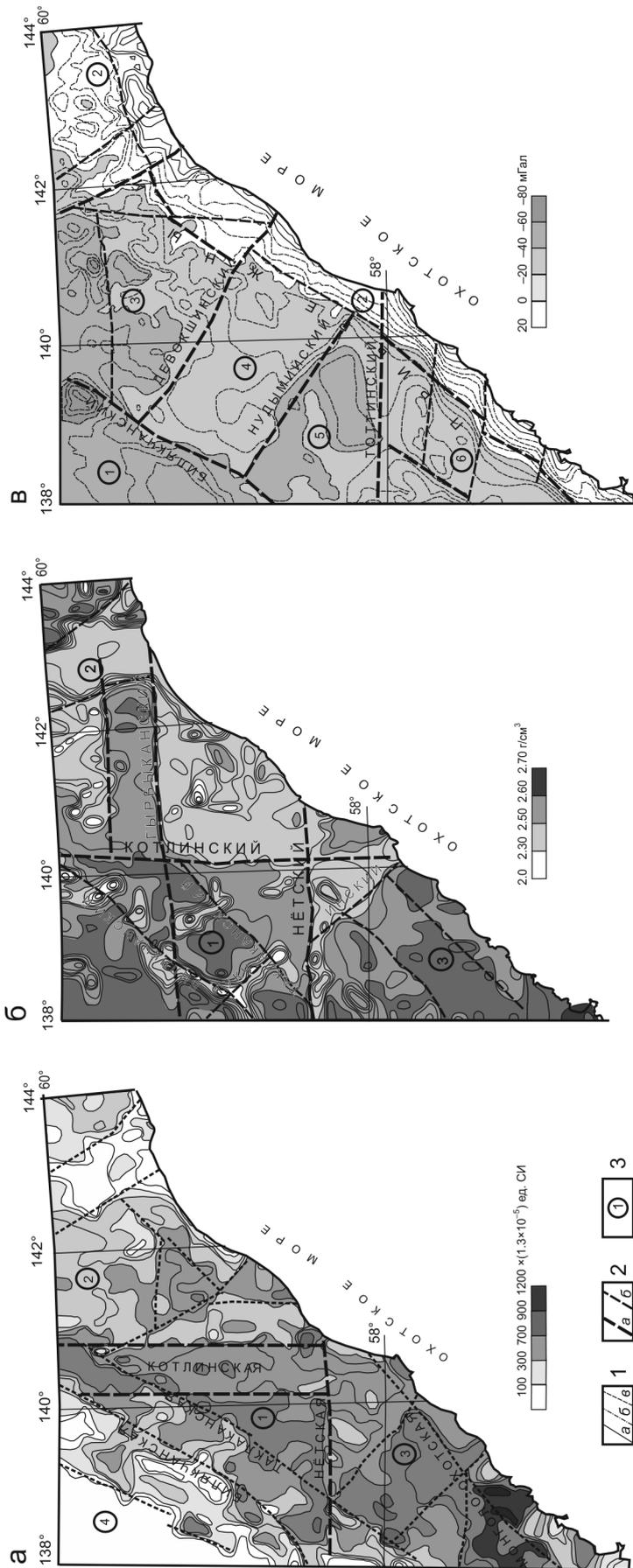


Рис. 2. Разломы верхней части земной коры северо-западной части Приохотья: а – выделенные по петромагнитной карте; б – по петроплотностной карте; в – по карте наблюдаемого гравитационного поля.

1 – изолинии магнитной восприимчивости и плотности (а, б) и гравитационного поля (в): а – положительные, б – нулевые, в – отрицательные; 2 – предполагаемые разломы: а – межблоковые, б – внутриблоковые; 3 – номера разлитошных (по приведенным параметрам) блоков.

Fig. 2. Faults of the earth's crust upper part of the of Priokhot'e northwestern area.

1 – isopleths of magnetic susceptibility and density (а, б) and gravity field (в): а – positive, б – zero, в – negative; 2 – supposed faults: а – interblock, б – intra-block; 3 – numbers of different types (according to the given parameters) of blocks.

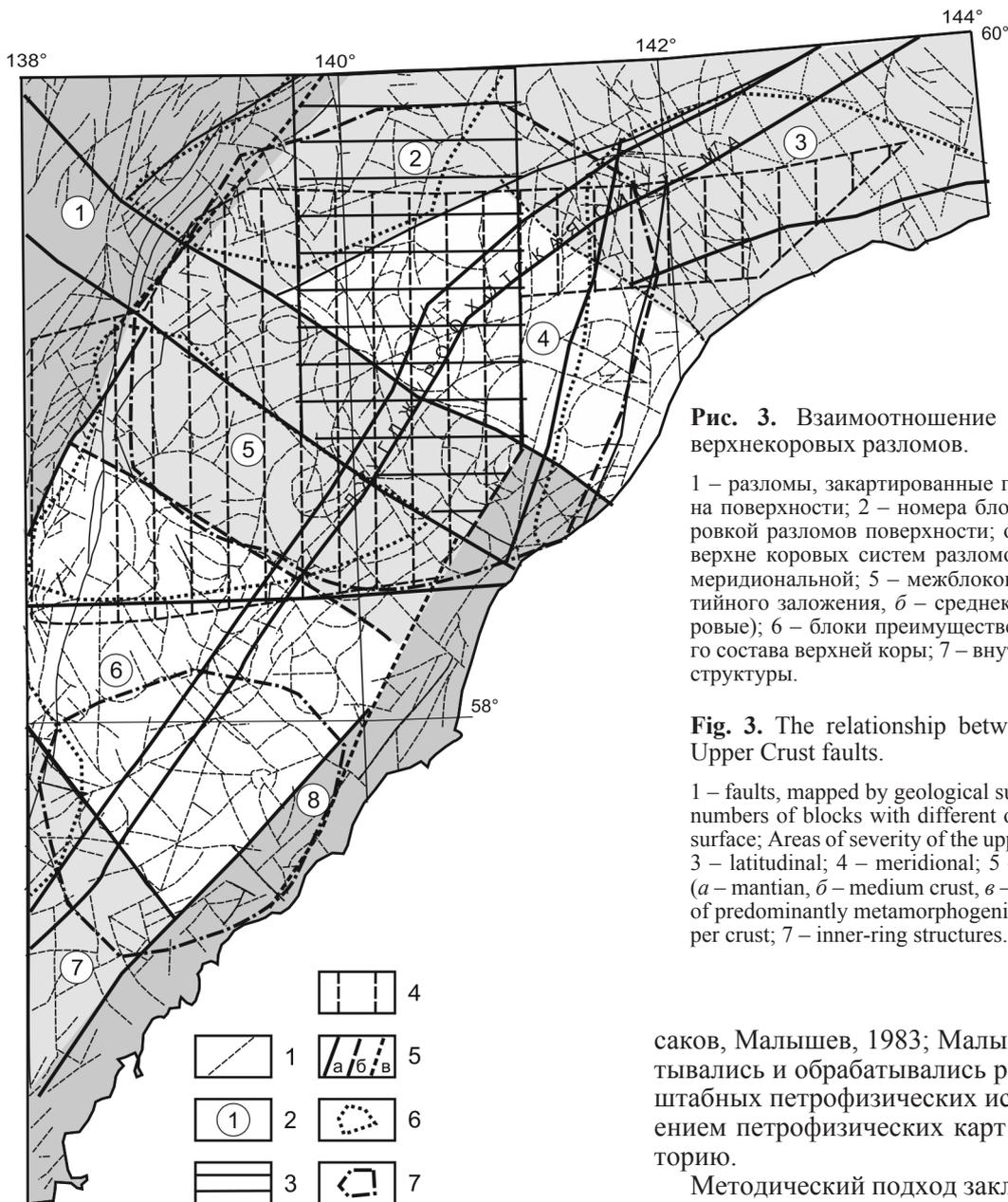


Рис. 3. Взаимоотношение коро-мантийных и верхнекоровых разломов.

1 – разломы, закартированные геологической съемкой на поверхности; 2 – номера блоков с разной ориентировкой разломов поверхности; области выраженности верхне коровых систем разломов: 3 – широтной; 4 – меридиональной; 5 – межблоковые разломы (а – мантийного заложения, б – среднекоровые, в – верхнекоровые); 6 – блоки преимущественно метаморфогенного состава верхней коры; 7 – внутрикоровые кольцевые структуры.

Fig. 3. The relationship between crust-mantle and Upper Crust faults.

1 – faults, mapped by geological survey on the surface; 2 – numbers of blocks with different orientation of faults of a surface; Areas of severity of the upper crustal fault systems: 3 – latitudinal; 4 – meridional; 5 – deep interblock faults (a – mantian, б – medium crust, в – upper crust); 6 – blocks of predominantly metamorphogenic composition of the upper crust; 7 – inner-ring structures.

ми. К ним приурочены центры вулканической деятельности (см. рис. 16). Вдоль многих разломов этого направления размещаются субвулканические тела, которые иногда образуют вытянутые на многие километры цепочки. Меньшую роль играют дизъюнктивы северо-западного направления, еще менее развиты близширотные и близмеридиональные нарушения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы карты гравитационного, в меньшей степени, магнитного поля масштаба 1 : 2 500 000, созданные на основе съемок 1 : 1 000 000 – 1 : 200 000 масштаба; данные профилей ГСЗ [Кар-

саков, Малышев, 1983; Малышев и др., 2014], учитывались и обрабатывались результаты среднемасштабных петрофизических исследований с построением петрофизических карт на указанную территорию.

Методический подход заключался в том, что отдельно по каждому методу строились карты интерпретации, которые легли в основу окончательной схемы разломной тектоники, составленной на основе сопоставления геофизических и петрофизических данных. В данной ситуации петрофизические карты отражали особенности строения приповерхностной зоны, а карты интерпретации физических полей обеспечивали информацию о более глубокой части литосферы.

В случае если границы выделенных структур по картам физических полей и по петрофизическим картам совпадали, считалось, что данная структура имеет развитие и на поверхности и на глубине, если же она картируется только по петроплотностным характеристикам – это приповерхностная структура, а если только по гравитационному полю – глубинная.

Петрофизические исследования заключались в построении на формализованной основе специализированных петромагнитной и петроплотностной карт [Гурович, 1983; Романовский и др., 2005; Иволга и др., 2013] и их интерпретацию. Данные определений плотности и магнитной восприимчивости горных пород согласно справочнику [Физические свойства..., 1987], дополнены современной информацией институтов РАН и производственных организаций. Карты позволяют получить представления, как о средних значениях параметров породных комплексов, так и в целом о конкретных структурных элементах территории (блоках), выделить разделяющие блоки структуры. В основу расчета положены данные 1750 элементарных ячеек, соответствующих листу масштаба 1 : 25 000. Результатом петрофизических исследований в рамках данной работы явилось изучение разломной тектоники верхней части земной коры на основе петрофизических неоднородностей.

Обработка и интерпретация проводилась по апробированной методике [Малышев и др., 2014]. Основным инструментом обработки данных геопотенциальных полей являлась компьютерная технология “КОСКАД 3D”, предназначенная для обработки трехмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического анализа [Никитин, Петров, 2010]. Функциональное наполнение комплекса “КОСКАД 3D” дало возможность на современном уровне провести спектрально-корреляционную и статистическую обработку геолого-геофизических данных, выполнить 2D- и 3D-моделирование.

Широко использованные в комплексе линейные оптимальные фильтры позволяют представить исходное поле набором разночастотных составляющих. В настоящей работе для разделения поля на составляющие использовалось “осреднение в окне”. Выбор оптимального радиуса осреднения программа подбирает автоматически посредством заданного алгоритма двумерной энергетической фильтрации, который позволяет оптимальным образом оценить параметры полезных сигналов с различными спектрально-корреляционными характеристиками непосредственно в процессе фильтрации.

Суть алгоритма заключается в следующем. На первом этапе вычисляется двумерная автокорреляционная функция $ДАКФ(m, p)$, где m – величина смещения по пикетам, p – величина смещения между профилями по всей площади наблюдений с целью определения корреляционных характеристик и размеров наиболее энергоемких и протяженных аномалий. Далее по интервалам корреляции вдоль профилей и между профилями, выбираются размеры базового окна фильтрации (соответственно ширина в пикетах и высота в профилях). Эти размеры заведомо больше самых протяженных аномалий. Затем для каждой точки площади наблюде-

ний, в окрестностях базового окна, осуществляется процедура неадаптивной двумерной фильтрации. То есть, по точкам попадающим в базовое окно, рассчитывается $ДАКФ(m, p)$ и выбирается ширина, высота и наклон окна фильтрации. В соответствии с критерием оптимальности определяются весовые коэффициенты фильтра и осуществляется двумерная свертка поля с весовыми коэффициентами фильтра. Таким образом, основные параметры двумерного фильтра: весовые коэффициенты, ширина, высота и наклон окна фильтрации определяются один раз для всей площади наблюдений.

Для изучаемой территории радиус корреляции по осям координат x/y , в случае низкочастотной составляющей равнялся 186/133 км, для среднечастотной 54/58 км, для высокочастотной 19/13 км.

В процессе изучения рассмотрены плотностные неоднородности на разных уровнях земной коры и литосферной мантии, изучены структурные особенности поверхностей раздела различных уровней.

Рассчитаны 3 типа объемных моделей гравитационного поля до глубины 90 км:

- 1) 3D распределение низкочастотных характеристик,
- 2) 3D распределение среднечастотных характеристик,
- 3) 3D распределение высокочастотных характеристик,
- 4) плотностные 3D модели.

Глубина модели обусловлена максимальной глубиной главных аномальных поверхностей, положение которых рассчитано посредством специализированного блока пакета “КОСКАД 3D” на основе анализа радиуса корреляции в скользящем окне “живой” формы [Никитин, Петров, 2010]. В результате работы программы была получена сеть, в которой содержится оценка положения верхней кромки главной гравитирующей поверхности с максимальными глубинами залегания не превышающими 75 км. Соответственно, для модельных построений выбрана глубина, в которую такая поверхность попадает полностью. В нашем случае глубина модели на 20% превышает максимальную глубину залегания гравитирующей поверхности. Оправданность такого выбора глубины модели подтвердили подобные расчеты вдоль северо-восточного участка комплексного геолого-геофизического профиля 3-ДВ (Сковородино–Томмот–Хандыга–Мякит), где была получена хорошая сходимость сейсмической (ГСЗ) и плотностной моделей, особенно в пределах земной коры. При построении 3D моделей был задействован модуль, предназначенный для оценки геометрии и относительного распределения масс аномальных источников. Кроме того, в модуле имеются возможности преобразования относительных масс в реальные. Программа базируется на интегрированном использовании статисти-

ческих, спектрально-корреляционных методов и алгоритма адаптивной фильтрации в окне живой формы [Никитин, Петров, 2010]. В результате вычислений образуется трехмерная сеть, содержащая 3 признака и совпадающая по пикетам и профилям с исходной. Для такой сети 1-й признак – относительное распределение масс, 2-й признак – распределение масс, расположенных на малых глубинах (аналогично пересчету вниз), 3-й признак – аналог пересчета вверх. Об эффективности работы алгоритмов, заложенных в модули пакета “КОСКАД 3D”, говорят результаты сопоставления с данными обработки других геофизических методов на соседних территориях посредством решения прямых задач.

В результате обработки получены разрезы и срезы составляющих поля силы тяжести и плотности литосферы до глубины 90 км. Информация о распределении поля на разных уровнях литосферы позволяет выявить изменение строения территории по глубине. При этом обнаруживается частичная унаследованность свойств разных уровней.

По результатам расчетов приводятся схема разломной тектоники и серия плотностных разрезов, дающих представление о пространственном размещении плотностных неоднородностей в литосфере рассматриваемой площади.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разрывная тектоника в приповерхностной области

Построенная на основе карты магнитной восприимчивости схема разрывной тектоники показывает преобладание северо-восточной ориентировки петромагнитных аномалий, совпадающей с направлением Ульяновского прогиба. Наиболее четко проявлены меридиональная Котлинская и широтная Нётская системы нарушений, которые разделяют площадь Ульяновской вулcano-тектонической структуры (ВТС) на три крупных блока: центральный (1), восточный (2), южный (3) с разной интенсивностью и направленностью аномалий магнитной восприимчивости (рис. 2а). Западный блок (4), соответствующий образованиям Аллах-Юньской структуры и Охотского массива, отделенный от Ульяновской ВТС Билякчанским разломом северо-восточного простирания, характеризуется пониженной магнитной восприимчивостью. Южный блок, ограниченный на севере, широтной Нётской зоной и соответствующий Джугджуро-Становой магматической системе имеет максимальную магнитную восприимчивость и преимущественно субширотно-северо-восточную направленность разломов. Центральный блок, ограниченный Нётским разломом на юге и Котлинским на востоке, характеризуется магнитной восприим-

чивостью средней интенсивности, имеет меридиональную (южно-верхоянскую) и северо-восточную направленности разломов. Восточный блок, в основании которого лежат древние породы Юровского блока, характеризуется наименьшей намагниченностью, имеет северо-западную и субмеридиональную ориентировку разломов. Северо-восточный Таклаканский разлом контролирует распространение северо-западных нарушений в охотоморском регионе, которые практически не выходят за его пределы. Вероятно, данный разлом является границей мезозойской геодинамики Прибрежной области.

По своей морфологии карта плотности существенно отличается от карты магнитной восприимчивости. При этом схемы разломов на основе указанных карт близки между собой (см. рис. 2а, б). На обеих схемах хорошо выражено меридиональное и широтное направления разломов. Причем широтное направление на карте плотности картируется не только в южной части площади (Нётский разлом), но и в северной – Гербыканский разлом. Блочное деление площади близко к таковому по магнитной восприимчивости. В качестве главного блокообразующего нарушения для северной части площади выделяется меридиональный Котлинский разлом, который делит ее на два блока – западный (1) и восточный (2). Для западного блока характерна повышенная плотность – 2.50–2.70 г/см³, отвечающая древним метаморфогенным породам Охотского массива и Южно-Верхоянской складчатой системы. Для восточного блока плотность в пределах 2.20–2.50 г/см³ – соответствует вулcanoгенным комплексам Ульяновской впадины и породам Гусинско-Кухтуйского поднятия (см. рис. 2б), за исключением широтной зоны плотных пород (2.50–2.70 г/см³) триасовых комплексов вдоль Гербыканского разлома (чехол Охотского массива) и древних метаморфических пород Охотского массива (Юровский выступ). Южный блок от северной части отделяется широтным Нётским разломом, представлен магматическими породами Джугджуро-Становой системы с более выдержанными по площади плотностными характеристиками 2.40–2.60 г/см³.

Анализ проявленности Ульяновской впадины в петрофизических характеристиках показал, что ей соответствуют аномалии повышенной магнитной восприимчивости северо-восточного простирания, со сложным внутренним блоковым строением. На карте плотности Ульяновская впадина, как единая тектоническая структура, не выделяется и представляет собой сочетание разноплотностных блоков. Общая картина разрывных нарушений обеих карт близка, что позволяет говорить, с большой долей вероятности, что свои очертания она приобрела позже времени образования породных комплексов. В петрофизических материалах устойчиво

проявилась ортогональная сеть разломов, что отличается от геологических материалов, где явно преобладают северо-восточные направления разрывных структур (см. рис. 3). Северо-восточная система нарушений наиболее четко проявлена в западном блоке на юге изучаемой площади. Ее распространение на северо-восток ограничивает Котлинская меридиональная система, за пределами которой начинают превалировать северо-западные направления.

Важное значение для понимания структуры литосферы региона имеет карта тектонических нарушений, выделяемых на основе анализа поля силы тяжести (см. рис. 2в). Структурный план разломов по карте наблюдаемого гравитационного поля, существенно отличается от всех выше рассмотренных карт. Это, вероятно, объясняется тем, что гравитационное поле создается не только верхней частью коры, но и интегральным влиянием всего геологического разреза как приповерхностной так и глубинной его частью. Главное отличие состоит в том, что в гравитационном поле слабо проявлена ортогональная система разломов и лучше выражена диагональная. Так меридиональная Котлинская система практически не проявлена, широтная Гырбыканская – на севере выражена фрагментарно. На юге широтные системы выражены более явно (рис. 4г), что свидетельствует о достаточно большой их глубинности. Северо-восточными Билякчанским и Прибрежным разломами, с востока на запад, рассматриваемая территория делится на три области: Прибрежную, Центральную и Западную. Прибрежная (от моря до Прибрежного (Монголо-Охотского) разлома) имеет максимальное по интенсивности гравитационное поле и минимальную мощность земной коры. Центральная область соответствует Ульяновскому и Удскому прогибам, со средней интенсивностью и средней мощностью коры. Для Западной области характерно наименьшее по интенсивности гравитационное поле и повышенная мощность земной коры, соответствует Южно-Верхоянской складчатой системе и блокам Охотского массива с [Красков, Малышев, 1983; Тектоническая природа..., 1984]. Прибрежная и Центральные области дополнительно делятся на поперечные блоки северо-западными (в северной части до Тоттинского разлома) и широтными нарушениями (после Тоттинского разлома).

Таким образом, на основе совместного анализа карт (см. рис. 2) можно определить относительную глубинность разрывных систем, а в некоторых случаях определить и их относительный возраст. Наиболее протяженными и глубинными из них, вероятно и наиболее древними, являются северо-восточные разломы; менее протяженными и глубинными – северо-западные и широтные; наименьшая глубина заложения у меридиональных нарушений.

Глубинная разрывная тектоника

Особенности глубинной разрывной тектоники изучались на основе частотного анализа гравитационного поля (см. рис. 4). Рассмотрены три уровня фильтрации гравитационных аномалий: низкочастотные (а) – наиболее глубинные мантийные, среднечастотные (б) – среднеглубинные (мантийно-нижнекоровые), высокочастотные (в) – средне-верхнекоровые.

На низкочастотном уровне (см. рис. 3а) наблюдается гравитационная ступень с понижением интенсивности в северо-западном направлении, которая отражает характер и направление нарастания мощности литосферы. Наиболее контрастная граница разноградиентного поля проходит по изолинии – 30 мГал, имеет характер межблоковой (межзональной) границы. Морфология аномального поля на среднем уровне (см. рис. 3б) представляет собой сочетание хорошо выраженных положительных и отрицательных аномалий (блоков разной плотности). Отрицательные аномалии – это блоки разуплотненной (гранитизированной) земной коры, положительные – блоки метаморфогенных образований повышенной плотности, слабо затронутых магматическими процессами. Легко заметить, что южная часть магматическими процессами переработана практически полностью.

Нётская широтная зона является одним из важнейших разломных элементов территории – отделяет южную, переработанную магматическими процессами часть площади, от северной – менее переработанной.

В северной части выделяются три крупных блока повышенной плотности литосферы (1, 2, 3), отличающиеся разной интенсивностью. Наименее плотный среди них – центральный блок (3), максимальная интенсивность у северо-восточного (2), располагающегося на границе с морской акваторией. Картину разрывной тектоники северной части площади формируют две главные системы: северо-западная – Юдомо-Ульинская и северо-восточная – Улья-Кетандинская. К Юдомо-Ульинской зоне приурочена линейная область разуплотнения, что свидетельствует о ее магмоконтролирующей роли. Улья-Кетандинская зона представляет собой гравитационную ступень, что указывает на ее межблоковую природу. Билякчанская система разломов картируется как граница между разноплотными блоками, состоит из двух частей, смещенных Юдомо-Ульинской системой разломов. Вышесказанное свидетельствует о более раннем заложении Билякчанского разлома как границы Южно-Верхоянской складчатой системы и Охотского массива. Процесс формирования Юдомо-Ульинской системы нарушений, вероятно, обусловлен поддвигом Охотской плиты под Охотский массив. В результате такого взаимодействия



Рис. 4. Разломы средней и нижней части земной коры северо-западной части Приохотья.

Выделенные на основе: а – низкочастотных; б – среднечастотных; в – высокочастотных трансформаций гравитационного поля; г – схема разноглубинных разломов: 1 – мантийные; 2 – коромантийные; 3 – средне-верхнекоровые; 4 – верхнекоровые; 5 – кольцевые коровые структуры.

Fig. 4. Faults of the middle and lower parts of the earth's crust of the northwestern part of Priokhotya.

Allocated on the basis of: а – low-frequency; б – medium frequency; в – high-frequency transformations of the gravitational field; г – is a diagram of the deep-sea faults: 1 – mantian; 2 – coromantian; 3 – medium-upper crust; 4 – upper crust; 5 – annular crustal structures.

Биликчанский разлом был разорван и смещен, а сама Юдомо-Ульинская система нарушений явилась источником магмообразования.

Карта высокочастотной составляющей поля (см. рис. 4в), отражает уровень верхнекорových неоднородностей и представляет собой сложное сочетание разнонаправленных отрицательных и положительных аномалий, которые обусловлены не только фундаментом Охотско-Чукотского пояса, но и внутренним строением самой депрессии, в частности, наличием блоков разного магматического состава. По степени дифференциации гравитационное поле Юдомо-Ульинской системой разломов делится на две части: северную – более дифференцированную, с преимущественно северо-западным и субмеридиональным (южно-верхоянским) направлением аномалий и южную – более спокойную по интенсивности, с субширотным, северо-западным и северо-восточным направлением аномалий. В свою очередь, южная часть делится северо-западным Тукчинским разломом на два более мелких блока: северный, отличающийся положительным гравитационным полем и южный, для которого характерно отрицательное поле. Такое деление, вероятно, обусловлено составом фундамента вулканогенного прогиба: осадочно-метаморфогенным для северного блока, преимущественно гранитоидным для южного.

В пределах изучаемой территории выделяются также кольцевые объекты купольного типа преимущественно гранитоидного состава, различающиеся по уровню эрозионного среза: более высокого в южной части, более низкого – в северной.

Хорошая проявленность крупных региональных систем нарушений на глубине, с приближением к поверхности притерпевают существенные изменения. В частности Биликчанский разлом здесь проявлен только своей северной ветвью, Юдомо-Ульинская система сузилась, локализовалась вблизи своей южной окраины, Улья-Кетандинская зона практически затушевана северо-западными и меридиональными структурами. Региональная Джугджуро-Охотская система на этом уровне выражается только цепочкой локальных положительных аномалий, обусловленных, вероятно, наличием экструзивных сооружений. Это свидетельствует о том, что во время формирования Ульинского прогиба данная система была магмопродуцирующей. Нётский разлом смещен и раздроблен на более мелкие части северо-западными системами нарушений. Особенность формирования достаточно густой системы разломов северо-западного направления, которые разбивают на части северо-восточной системой нарушений, является основной для структурного плана верхнего уровня.

Еще одним важным элементом уровня является формирующийся на изгибе Джугджуро-Охотской системы протяженный северо-восточный Ядрин-

ский разлом, который закартирован на поверхности геологической съемкой (см. рис. 3). Вдоль него меняются преобладающие направления нарушений. В частности северо-западная (охотоморская) система разломов сменяется северо-восточной (континентальной). В северной части территории на диагональную сеть нарушений накладываются меридиональные структуры, а на юге – широтные, которые слабо проявлены на предыдущих срезах. В целом структурный план разломов по высокочастотным аномалиям лишь отчасти унаследует структурный план более глубоких срезов. Его отличительная особенность – появление меридиональных направлений и объектов кольцевого типа. Южная кольцевая структура связана с формированием Прибрежного гранитоидного массива и имеет относительно простое внутреннее строение. Северная кольцевая структура отличается более сложным внутренним строением, обусловленным менее глубоким эрозионным срезом предполагаемого гранитоидного массива, в кровле которого залегают достаточно мощные толщи вулканогенных образований среднего состава, проявляющиеся в виде локальных положительных аномалий.

Глубины формирования разломов на данной территории демонстрирует рис. 4г, который является компиляцией структурных планов разных глубинных уровней. Поскольку результирующий план разрывных структур на основе такого подхода оказался очень плотным, была выполнена их генерализация путем отсечения, как мелких разломов, так и тех, которые отмечаются на нескольких глубинных уровнях. Условный знак разлома показывает глубину, на которой его удалось впервые выделить. Имеет ли этот разлом продолжение на более высоких уровнях можно проследить, сравнивая структурные планы разных уровней.

Наиболее глубокая Джугджуро-Охотская система, имеющая мантийное заложение, в более высоких горизонтах земной коры проявляется фрагментарно: на крайнем севере ее элементы отмечены в нижней коре, в центральной части – в верхней коре, в южной части – на поверхности (проявлены в наблюдаемом поле). Это свидетельствует о том, что активизация разных частей данной системы происходила на разных глубинных уровнях. В целом, уменьшение глубины ее активности происходило с севера на юг, что в общем согласуется с уровнем эрозионного среза контролируемого ею магматизма и подтверждается и составом магматических продуктов. Индикатором магматической активности данной структуры на поверхности, является приуроченная к ней цепочка жерловых и субвулканических сооружений (нарушения кольцевого типа) [Геологическая карта..., 1986, 2006], закартированных геологическими наблюдениями (см. рис. 3).

Разломы, выделенные на карте среднечастотной трансформации, учитывая параметры фильтра,

можно отнести к мантийно-коровому заложению. В частности Билякчанский блок в поле средней частоты (см. рис. 4б) отражается в виде двух половинок, разделенных Юдомо-Ульинской системой, каждая из которых на более высоких коровых уровнях развивается самостоятельно. Судя по тому, как Билякчанский разлом картируется в настоящее время, наблюдается его погружение с севера на юг.

Юдомо-Ульинская система, проявленная на всех глубинных уровнях, также является магмопродуцирующей: на западе к ней приурочены мелкие интрузии гранитоидного состава, а в пределах Ульинской ВТС – жерловые аппараты, что показывает ее погружение с запада на восток. В этом же направлении меняется и состав самих вулканитов от среднего к основному.

Улья-Кетандинская система тектонических нарушений в трансформированном гравитационном поле проявлена исключительно на среднечастотном (мантийно-коровом) уровне, на более высоких горизонтах она затухивается и только на поверхности к ней приурочены несколько вулканических аппаратов и мелкие гранитоидные интрузии, что подтверждает ее магмопродуцирующий характер.

Монголо-Охотский (Прибрежный) разлом как мантийно-коровый проявлен в юго-восточной части (см. рис. 4б), северо-восточнее он становится коровым и протягивается вплоть до Юдомо-Ульинской дизъюнктивной системы (см. рис. 4г). Его специализация многопрофильная – он является и блокоразделяющим и магмоконтролирующим.

Нётский разлом мантийного заложения является продолжением региональной Кондеро – Нётской системы, ее северным ограничением, проявлен по всей глубине земной коры, вплоть до поверхности (отражен на петроплотностной карте). Весь блок, южнее Нётского разлома (см. рис. 4г) вплоть до Федоровского разлома, находится в зоне влияния Кондеро-Нётской системы, разделен серией широтных средне-верхнекоровых нарушений на более мелкие блоки.

Ядринский разлом восток-северо-восточного направления (см. рис. 4г, б) является магмоподводящим, картируется не только в структуре гравитационного поля, но и геологическими наблюдениями на поверхности. К нему приурочены эруптивные аппараты, в своей восточной части он является еще и рудоконтролирующим.

Роль Тунгарского и Федоровского коромантийных разломов пока не совсем ясна. Остальные разломы на карте имеют коровое происхождение. Они способствуют более дробному блоковому делению земной коры. В этой связи необходимо отметить разделяющую роль Нудымийского разлома, выделенного по наблюденному полю, который разграничивает блоки разного фундамента ВТС.

Соотношение глубинной и поверхностной разрывной тектоники демонстрирует рис. 3. На нем

сведены сети разрывных нарушений, закартированных как в процессе геологической съемки [Геологическая карта..., 1986, 2006], так и сеть коромантийных разломов, выделенных в процессе обработки гравитационного поля. Сопоставление показывает, что глубинные разломы коромантийного уровня являются границами блоков разной ориентировки для разломов на поверхности. Это свидетельствует о том, что такая блокировка территории имеет продолжение фактически по всему разрезу коры. Для блока № 1, отделяемого Билякчанским разломом, который представлен в основном древними породами Южного Верхоянья и Охотского массива (PR-PZ возраста), характерно преимущественно северо-восточное направление тектонических нарушений. Блок № 3, включающий северную часть Ульинского прогиба и южную часть Охотско-Гусинского поднятия отличается преимущественно северо-западным направлением дизъюнктивов, конформных направлению Охотско-Кухтуйского прогиба, т.е. здесь преобладают, секущие Охотско-Чукотский пояс направления. Ядринский разлом разграничивает блоки № 3 и № 2. Особенность второго блока состоит в том, что в нем проявлены как восток-северо-восточные направления параллельные Ядринскому разлому, так и северо-западные – в продолжение разломов третьего блока. В блоке № 2 появляются элементы кольцевых разломов, его поверхность представлена вулканитами среднекислого состава. Сам Ядринский разлом трассируется цепочкой вулканических аппаратов основного состава. Для блоков № 4 и № 5 характерны восток-северо-восточное направление разломов и насыщенность кольцевыми структурами. Эти блоки имеют близкий состав вулканогенных образований (средний и смешанный). Пожалуй, их единственное отличие в том, что в блоке № 4 больше нарушений северо-западной ориентировки. В блоке № 6 преобладают дизъюнктивы северо-западного направления, вдоль Джугджуро-Охотской системы проявлены еще и кольцевые нарушения. Преимущественный состав магматических образований кислый. Для блока № 7 характерны разнонаправленные нарушения, при этом северо-западные разворачиваются к близмеридиональному (верхоянско-колымскому) направлению. В блоке № 8 преобладают разломы северо-восточного направления, здесь преобладают средние по составу магматиты.

Проведенный анализ разломной тектоники изучаемой территории показал, что глубинные и поверхностные системы нарушений взаимосвязаны. Морфология дизъюнктивной сети определяется сочетанием северо-восточных, северо-западных и кольцевых структур. На диагональную систему разломов в северной и южной частях наложены широтные дизъюнктивы. Кроме того, в северной части территории широко распространены меридиональные нарушения.

Выявлены крупные морфологические закономерности дизъюнктивной тектоники, присутствующие основным тектоническим объектам региона. В частности, в северо-западной части территории, представленной древними надвиговыми структурами Верхояно-Колымской складчатой области и Охотского массива, преобладают разломы северо-восточной ориентировки. Ориентированная на северо-восток Ульяновская ВТС, посредством северо-западных разрывных нарушений делится на поперечные блоки. Наиболее крупная из северо-западных Юдомо-Ульянская система разломов делит депрессию по составу фундамента на две части: северную, с преимущественно метаморфогенным составом фундамента и южную с преимущественно гранитоидным. В то же время в самой вулканогенной структуре разделение по составу вулканитов на северный и южный блоки проходит не по Юдомо-Ульянской системе, а по Нудымийскому разлому, по которому средне-основной состав вулканитов севера сменяется средне-кислым составом юга. В целом по уровню эрозионного среза магматитов рассматриваемый участок Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, делится на три крупных блока: Охотский (на северо-востоке), Центральный (на пересечении Джугджуро-Охотской и Юдомо-Ульянской систем) и Прибрежный (на юго-западе). Охотский и Прибрежный блоки – приподнятые, в них на поверхность выходят гранитоидные образования. Наиболее опущенный из трех – Центральный блок. Он контролируется кольцевой северной структурой, к которой приурочено большинство субвулканических сооружений. Это свидетельствует о том, что депрессионная кольцевая вулкано-тектоническая структура образовалась в процессе обрушения вулканокупольной, на возможность такого процесса указывалось выше [Белый, 1977; Геологическая карта..., 1986].

Глубинное строение региона демонстрируют глубинные разрезы по профилям 1–4, полученные из плотностной модели (рис. 5). Из разрезов видно, что как для континента, так и для Охотского моря, характерна достаточно плотная литосфера. Главная область разуплотнения расположена между Джугджуро-Охотской и Монголо-Охотской (Прибрежной) системами разломов, имеет северо-восточное простирание (профили 2–4). Особенность Прибрежной (Монголо-Охотской) системы состоит в том, что она является границей сочленения морских и континентальных тектонических структур. Локальные области разуплотненной литосферы имеются как на юге (Джугджурская магматическая система – профили 3, 4), так и на севере (Охотско-Гусинское поднятие – профиль 1). Последнюю область можно рассматривать и как самостоятельную, и как элемент куполообразной структуры, образовавшейся в результате формирования

мантийного диапира, который на поверхности отмечен подъемом метаморфизованных пород к поверхности (Юровский выступ). Граница сочленения морских и континентальных структур не совпадает с береговой линией, морские структуры уходят под континент. Однако под континент они не погружаются, а воздымаются, т.е. линия сочленения, является линией “стыка” континентальной зоны разуплотнения и морской области повышенной плотности. Это, вероятно, указывает на коллизии Охотоморской, Евразийской и Северо-Американской плит. В зоне стыка со стороны моря подходят локальные аномалии повышенной плотности литосферы, что, свидетельствует о сжатии в зоне взаимодействия морских и континентальных образований. Сползание континентальных отложений, вероятно, связано с более молодыми поствулканическими рифтогенными процессами. Локальные аномалии повышенной плотности отмечаются также и вдоль западной границы области разуплотнения, контролируемой Джугджуро-Охотской системой разломов (профили 2–4). При этом картина их сочленения здесь более спокойная.

На профиле 1, в его западной части, выделяется участок с четким горизонтальным распределением плотностных неоднородностей верхней части разреза, подстилающийся горизонтом пониженной плотности, который соответствует отложениям Южно-Верхоянской складчатости. Оба горизонта вместе образуют единую синклиналию структуру, залегающую на более плотном основании. На втором и третьем профиле имеются только небольшие разуплотнения, проявленные лишь в верхней коре. Особенность морской части литосферы состоит в том, что на фоне преобладающей литосферы с высокой плотностью, выделяются линейные аномалии пониженной плотности в коре и в мантии, “воздымающиеся” к континенту, аналогичные горизонту разуплотнения профиля 1. Этот факт, по-видимому, является подтверждением субконтинентальной природы литосферы Охотоморской плиты, которая характеризуется небольшой мощностью осадочного слоя и слабо развитым гранитным слоем [Объяснительная записка..., 2000]. Мощность земной коры не превышает здесь 20 км, поверхность Конрада располагается на глубине 8–10 км. Переход от впадины Охотского моря к континенту сопровождается увеличением мощности коры до 25–35 км. Одновременно поверхность Конрада испытывает погружение до глубины 15–17 км, значения поля силы тяжести становятся отрицательными. Рассматриваемая территория располагается в зоне перехода земной коры субконтинентального типа к континентальному, что подтверждают и петроплотностные разрезы, на которых плотностные характеристики литосферы континентальной и морской плит отличаются незначительно.

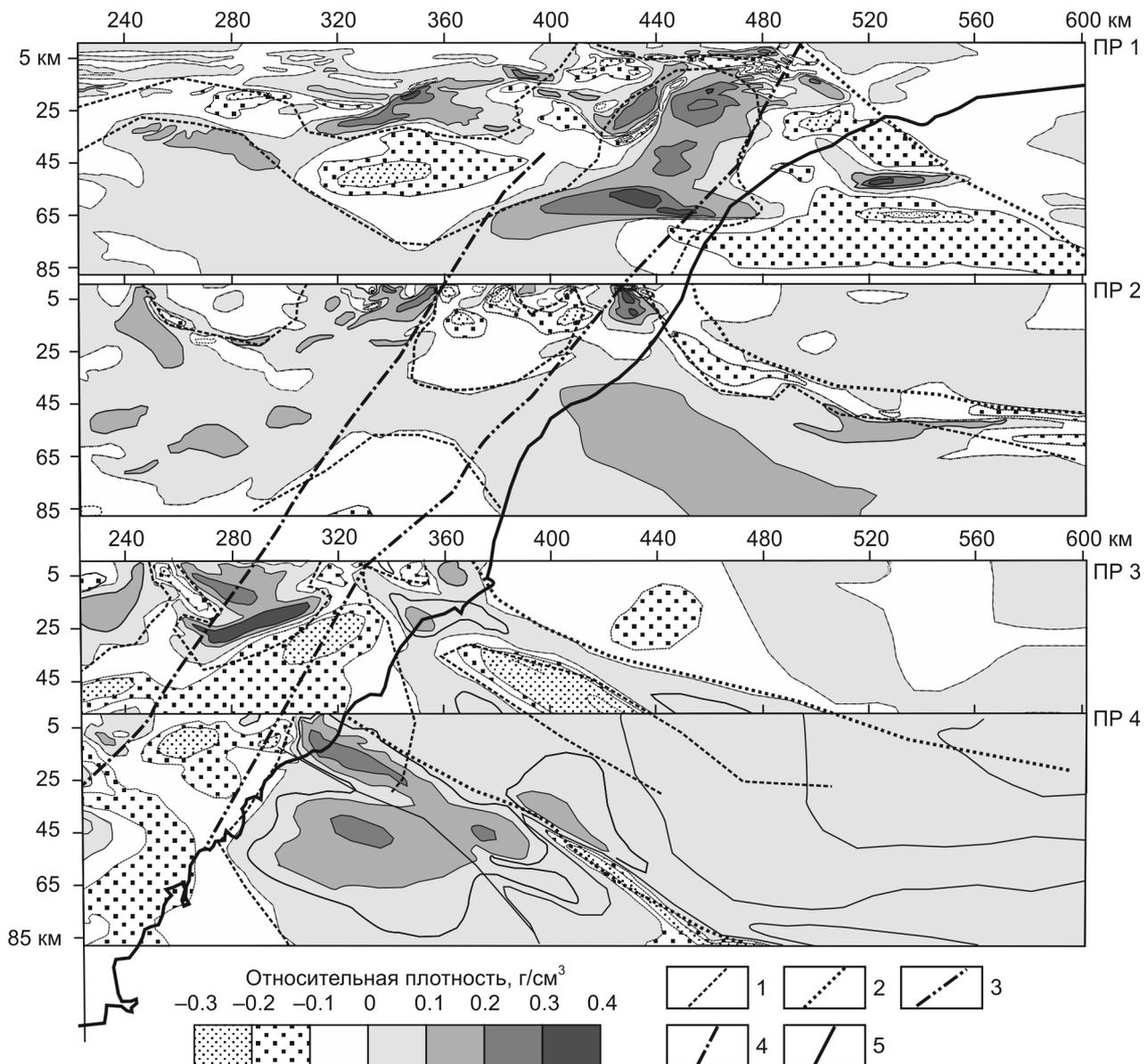


Рис. 5. Плотностные разрезы области сочленения охотоморских и континентальных структур.

1 – границы разуплотненной литосферы, в море и на континенте; 2 – линии подъема охотоморских плотностных неоднородностей; 3 – граница сочленения охотоморских и континентальных плотностных неоднородностей; 4 – западная граница континентальной зоны разуплотнения; 5 – береговая линия.

Fig. 5. Density sections of the articulation area of the Okhotsk Sea and continental structures.

1 – the boundaries of the decompacted lithosphere, in the sea and on the continent; 2 – lines of the rise of the Okhotsk sea density inhomogeneities; 3 – the boundary of the articulation of the Okhotsk Sea and continental density inhomogeneities; 4 – the western boundary of the continental zone of decompaction; 5 – coastline.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования позволяют отметить следующие особенности глубинного строения. В северо-восточном направлении литосфера континентальной части территории Джугджуро-Охотской и Монголо-Охотской систем разломов делится на три области: высокоплотные – западную

и восточную (прибрежную), и центральную – пониженной плотности. Джугджуро-Охотская система разломов является региональной границей между плотной и разуплотненной литосферой на континенте. В геологическом отношении ее можно рассматривать как границу древней (юрско-меловой) палеосубдукции, в процессе которой сформировался пояс гранитизированной разуплотненной лито-

сферы. В то же время, особенность взаимодействия континентальных и морских тектонических структур больше указывает на коллизионный характер сочленения. Вероятно, уже в кайнозойское время, в результате северо-западного воздействия Тихоокеанской плиты на Охотоморскую, произошла коллизия Охотоморской и Евразийской плит. В результате вдоль области сочленения сформировались участки сжатия. В процессе поддвига Тихоокеанской плиты под Охотоморскую, в центральной части последней сформировалась северо-западная система нарушений, которая имела свое продолжение в пределы континента [Объяснительная записка..., 2000]. Следы такого влияния выразились в повсеместном распространении на прилегающем континенте разломов северо-западного направления, крупнейшим из которых является Юдомо-Ульинский. Ульинская ВТС – основной тектонический элемент площади также контролируется Джугджуро-Охотской системой мантийных разломов. Фактически система делит фундамент Ульинской ВТС по составу на две равные части. Для западной части характерен преимущественно метаморфический состав фундамента, для восточной – гранитоидный. Внутри земной коры Джугджуро-Охотская система затушевывается другими внутрикоровыми нарушениями, в то время как на поверхности она контролирует цепочку субвулканических и жерловых объектов, что указывает на ее достаточно продолжительную жизнь как субдукционного объекта, в том числе и в меловое время. Юрско-меловой субдукционный режим на окраине Азиатской плиты в кайнозой сменился коллизионным, в результате которого Ульинская ВТС была разделена северо-западными нарушениями на поперечные блоки. Последовавший за этим внутриплитный окраинный рифтогенез, привел к тому, что по Прибрежному (Монголо-Охотскому) разлому произошло “наползание” континентальных отложений на морские тектонические структуры. По Л.Ф. Мишину [1982] формирование прибрежной моноклинали связывается с образованием впадины Охотского моря.

Значительное илиание на тектонику и геодинамику региона оказывают долгоживущие внутриплитные процессы. Они отвечают за формирование мантийных диапировых структур (см. рис. 5, профиль 1), выводящих древние образования Охотского массива на поверхность (Юровский выступ), с ними же, вероятно, связано формирование ортогональных систем нарушений.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили лучше понять природу взаимодействия тектонических структур юго-западной окраины Охотского моря в зоне перехода континент-океан.

2. Созданные для разных глубинных уровней схемы разломной тектоники, позволили системно рассмотреть иерархию тектонических нарушений, определить их значимость в геологической истории региона.

3. Построенные петрофизические карты имеют перспективы дальнейшего многофункционального применения.

4. Рассчитанные карты трансформаций гравитационного поля, плотностные 3D модели области сочленения морских и континентальных тектонических структур, могут быть использованы как для дальнейшего изучения литосферы региона, так и для палинспастических реконструкций.

5. Полученная структурная основа может стать фундаментом изучения закономерностей формирования месторождений полезных ископаемых.

Исследования выполнены при поддержке гранта ДВО РАН (проект № 15-1-2-068).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белый В.Ф. (1977) Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканического пояса. М.: Наука, 171 с.
- Варнавский В.Г. (1994) Геодинамика кайнозойских нефтегазоносных осадочных бассейнов активных континентальных окраин (на примере Дальневосточного сектора зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану). М.: Наука, 207 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1 (2006) (Под ред. А.И. Ханчука). Владивосток: Дальнаука, 572 с.
- Геологическая карта СССР. Лист О-(53)54 – Охотск. Масштаб 1 : 100 000 (Новая серия). Объяснительная записка (1986) (Отв. ред. А.Л. Ставцев). Л.: ВСЕГЕИ, 127 с.
- Геологическая карта Хабаровского края масштаба 1 : 1 000 000 (2004) (Ред. А.Ф. Васькин, Г.В. Роганов). Хабаровск: ФГУГГП “Хабаровскгеология”.
- Гурович В.Г. (1983) Петроплотностная характеристика Охотско-Чукотского вулканического пояса. *Геофизические исследования геологических структур Дальнего Востока*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 71-77.
- Иволга Е.Г., Романовский Н.П., Гурович В.Г., Манилов Ю.Ф. (2013) К вопросу о глубинном строении области сочленения Северо-Сихотэ-Алинской и Северо-Сахалинской складчатых структур. *Тихоокеанская геология*, 32(5), 78-88.
- Карсаков Л.П., Малышев Ю.Ф. (1983) Модели строения и глубинной эволюции земной коры юго-востока Сибирской платформы. *Тектоника Сибири. Т. XI*. Новосибирск: Наука, 95-99.
- Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Каплун В.Б., Романовский Н.П., Гурович В.Г. (2012) Геофизическая характеристика и металлогения востока Алдано-Станового щита (Дальний Восток). *Тихоокеанская геология*, 31(4), 3-16.
- Малышев Ю.Ф., Манилов Ю.Ф., Гурьянов В.А. (2014) Глубинное строение восточной части Северо-Азиатского кратона по результатам интерпретации данных геопотенциальных полей. *Литосфера*, (2), 144-151.

- Мишин Л.Ф. (1982) Породные группы и серии краевых вулканических поясов. М.: Наука, 124 с.
- Никитин А.А., Петров А.В. (2010) Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: ООО "Центр информационных технологий в природопользовании". 114 с.
- Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1 : 2 500 000 (2000) (Отв. ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин). М.: Ин-т литосферы окраинных и внутренних морей, 193 с.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Б. и др. (2003) Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии. *Тихоокеанская геология*, **22**(6), 7-41.
- Тектоническая природа геофизических полей Дальнего Востока. (1984) М.: Наука, 200 с.
- Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1 : 1 500 000. (2005) Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 264 с.
- Романовский Н.П., Гурович В.Г., Малышев Ю.Ф., Иволга Е.Г. (2005) Петромагнитная карта области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. *Тихоокеанская геология*, **24**(2), 3-9.
- Физические свойства горных пород Дальнего Востока. Справочник в 2-х частях. (1987) Владивосток: ДВО АН СССР. Ч. 1. 212 с. Ч. 2. 213-392.
- REFERENCES
- Belyi V.F. (1977) *Stratigrafiya i struktury Ohotsko-Chukotskogo vulkanicheskogo poyasa* [Stratigraphy and structures of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt]. Moscow, Nauka Publ., 171 p. (In Russian)
- Fizicheskie svoystva gornyykh porod Dal'nego Vostoka: Spravochnik. V 2-kh chastyakh.* (1987) [Physical properties of the rocks of the Far East. Handbook: in 2 parts]. Vladivostok, Far Eastern Branch of the Academy of Sciences of the USSR. Part. 1: 212 p. Part 2: 213-392. (In Russian)
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii. Kn. 1.* (2006) [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia. B.1.] (Ed. A.I. Hanchuk). Vladivostok, Dal'nauka Publ., 572 p. (In Russian)
- Geologicheskaya karta Khabarovskogo kraya masshtaba 1 : 1 000 000* (2004) [Geological map of the Khabarovsk Territory at a scale of 1 : 1 000 000] (Eds: A.F. Vas'kin, G.V. Roganov). Khabarovsk, FGUGGP "Khabarovskgeologiya".
- Geologicheskaya karta SSSR. List 0-(53)54 – Ohotsk. Masshtab 1 : 100 000 (Novaya seriya). Ob'yasnitel'naya zapiska (Otv. redaktor A.L. Stavtsev)* (1986) [Geological map of the USSR. Sheet O-(53) 54 – Okhotsk. Scale 1 : 100 000 (New series). Explanatory note (Head A.L. Stavtsev)]. Leningrad, VSEGEI Publ., 127 p. (In Russian)
- Gurovich V.G. (1983) Petro-density characteristics of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt. In: V kn.: *Geofizicheskie issledovaniya geologicheskikh struktur Dal'nego Vostoka* [Geophysical Investigations of the Geological Structures of the Far East]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 71-77.
- Ivolga E.G., Romanovskii N.P., Gurovich V.G., Manilov Yu.F. (2013) On the question of the deep structure of the junction region of the North Sikhote-Alin' and North-Sakhalin fold structures. *Tikhookean. Geol.*, **32**(5), 78-88.
- Karsakov L.P., Malyshev Yu.F. (1983) The models of structure and earth crust deep evolution of south-east of Siberian Platform. *Tektonika Sibiri. T. XI* [Tectonics of Siberia. V. XI]. Novosibirsk, Nauka Publ., 95-99. (In Russian)
- Malyshev Yu.F., Goroshko M.V., Kaplun V.B., Romanovskii N.P., Gurovich V.G. (2012) Geophysical Characteristics and Metallogeny of the eastern part of Aldan-Stanovoy Shield (Far East). *Tikhookean. Geol.*, **31**(4), 3-16. (In Russian)
- Malyshev Yu.F., Manilov Yu.F., Gur'yanov V.A. (2014) Deep structure of the eastern part of the North Asian craton from the interpretation of geopotential fields. *Litosfera*, (2), 144-151. (In Russian)
- Mishin L.F. (1982) *Porodnye gruppy i serii kraevykh vulkanicheskikh poyasov* [Rock groups and a series of marginal volcanic belts]. Moscow, Nauka Publ., 124 p. (In Russian)
- Nikitin A.A., Petrov A.V. *Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informatsii* [Theoretical Foundations of Processing of Geophysical Information]. Moscow, "Tsentr informatsionnykh tekhnologii v prirodopol'zovanii" Publ., 114 p. (In Russian)
- Ob'yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoi karte Ohotomorskogo regiona masshtaba 1 : 2 500 000* (Otv. red. N.A. Bogdanov, V.E. Hain). (2000) [Explanatory note to the tectonic map of the Sea of Okhotsk region (Heads: N.A. Bogdanov, V.E. Hain)]. Moscow, Inst. litosfery okrainnykh i vnutrennikh morei Publ., 193 p. (In Russian)
- Parfenov L.M., Hanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.B. i dr. (2003) Model of the formation of orogenic belts in Central and North-East Asia. *Tikhookean. Geol.*, **22**(6), 7-41. (In Russian)
- Romanovskii N.P., Gurovich V.G., Malyshev Yu.F., Ivolga E.G. (2005) Petro-magnetic map of the junction region of the Central Asian and Pacific belts. *Tikhookean. Geol.*, **24**(2), 3-9. (In Russian)
- Tektonicheskaya priroda geofizicheskikh polei Dal'nego Vostoka.* (1984) [Tectonic nature of the geophysical fields of the Far East]. Moscow, Nauka Publ., 200 p. (In Russian)
- Tektonika, glubinnoe stroenie, metallogeniya oblasti sochleneniya Tsentral'no-Aziatskogo i Tihookeanskogo poyasov. Ob'yasnitel'naya zapiska k Tektonicheskoi karte masshtaba 1 : 1 500 000.* (2005) [Tectonics, deep structure, metallogeny of junction area of the Central Asian and Pacific belts. Explanatory note to the Tectonic map of scale 1 : 1 500 000]. Vladivostok-Khabarovsk, DVO RAN Publ., 264 p. (In Russian)
- Varnavskii V.G. (1994) *Geodinamika kainozoiskikh neftegazonosnykh osadochnykh basseinov aktivnykh kontinental'nykh okrain (na primere Dal'nevostochnogo sektora zony perekhoda ot Aziatskogo kontinenta k Tikhomu okeanu)* [Geodynamics of Cenozoic oil-and-gas bearing sedimentary basins of active continental margins (on the example of Far Eastern sector of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean)]. Moscow, Nauka Publ., 207 p. (In Russian)