

Верба М.Л., Беляев И.В., Штыкова Н.Б.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

На основе анализа геолого-геофизических материалов, полученных на опорном профиле 5-АР «мыс Биллингс - поднятие Менделеева», статистической обработки петрофизических данных и обобщения результатов предшествующих площадных геофизических работ составлена тектоническая карта Восточно-Сибирского моря. Ее отличие от ранее выполненных построений заключается в акцентировании внимания на выделении блоков древней Гиперборейской платформы, разобращенных фанерозойскими рифтогенными структурами. Излагаются основные принципы составления легенды. Приводится обоснование возраста консолидации коры в пределах выделенных геоструктур.

Ключевые слова: *тектоника, восточная Арктика, гиперборейская платформа, геофизические исследования, петрофизические данные, картография.*

Based on analysis of geological and geophysical data obtained on the transect 5-AR «Cape Billings - Mendeleev Rise», statistical analysis of petrophysical data and summarizing the results of previous area geophysical survey is made a tectonic map of the East Siberian Sea. The difference between new and previous constructions is emphasizing the allocation of ancient Hyperborean platform blocks, separated Phanerozoic rift structures. It is outlined the basic principles of making legend. The rational explanation is given for the crust consolidation age within the geostructures limits.

Keywords: *tectonics, eastern Arctic, Hyperborean platform, geophysical investigations, petrophysical data, cartography.*

Комплексные геолого-геофизические работы, выполненные в 2009-2010 гг. ФГУНПП Севморгео на опорном профиле 5-АР «мыс Биллингса - поднятие Менделеева» позволили не только уточнить представления о глубинном строении шельфа Восточно-Сибирского моря (ВСМ) в полосе, прилегающей к о. Врангеля, но и увязать результаты предшествующих геофизических работ. Первый из этих результатов отражен Сакулиной Т.С. с соавторами, а итоги увязки региональных данных рассматриваются ниже.

Опорный профиль 5-АР осветил строение четырех крупных структур: Куульского антиклинория, располагающегося на суше и ограниченного с юга Охотско-Чукотским вулканогенным поясом (ОЧВП), Врангелевско-Геральдского террейна (ВГТ), занимающего центральное положение на морской секции профиля, и сопредельных с ним протяженных мегапрогибов - Южно-Чукотского (ЮЧМ) и Новосибирско-Северочукотского (НСЧМ). Из числа перечисленных структур наименее изученным оставался ВГТ, глубинный разрез которого был освещен впервые. Выяснение тектонической позиции этого террейна в ансамбле сопредельных геоструктур позволило по-новому взглянуть на строение всего шельфа ВСМ и отразить сложившиеся представления в новой редакции тектонической карты.

Существующие взгляды на структуру и геодинамическую эволюцию данного региона весьма противоречивы. С одной стороны, не потеряли своей актуальности высказанные еще в 1930-е годы представления Шатского Н.С. о существовании Гиперборейской платформы. Позднее они были дополнены Спижарским Т.Н., отметившим «невозможность прослеживания на акватории складчатых структур Чукотской ортогеосинклинали», и нашли развитие в работах Каменевой Г.И., Кулакова Ю.Н., Тильмана С.М. и их коллег, которые констатировали затухание в северном направлении складчатых деформаций, прослеживаемых в рельефе сопредельной суши. Результаты сейсмических работ, выполненных на шельфе ВСМ в конце прошлого века, показали, что в разрезе НСЧМ присутствуют недеформированные отложения, начиная со среднего палеозоя. Это дало основание Хаину В.Е. [*Хаин и Филатова, 2009*] поддержать идею Шатского о Гиперборейском массиве. С другой стороны, высказаны альтернативные мнения, согласно которым «восточно-арктический шельф есть прямое продолжение позднемезозойских складчатых структур, развитых на суше Северо-Востока СССР и

перекрытых плащом верхнемеловых-кайнозойских осадков» [Вольнов и Литинский, 1976; Грамберг и др., 1997; Виноградов и др., 2008]. Наряду с этим, существует спектр паллиативных построений, допускающих развитие в фундаменте Восточно-Арктического шельфа разновозрастных структур: позднекеммерийских в центральной части ВСМ и на о. Врангеля, каледонских на поднятии Де-Лонга и среднепалеозойских на Чукотском шельфе в прогибе Ханна [Богданов и др., 1995; Остров Врангеля..., 2003; Fujita & Cook, 1990 и др.].

Материалы, полученные на профиле 5-AP, позволили выделить в структуре ВГТ специфический супракрустальный мегакомплекс рифейско-раннепалеозойского возраста мощностью от 2 на своде до 10 км на южной периферии, лишь местами и притом слабо осложненный позднебайкальским тектогенезом. Выполненный этим комплексом Северо-Врангелевский прогиб рассматривается в свете этих данных как рифтогенный трог, в строении которого главную роль играют флишоидные отложения, накопившиеся при сносе терригенного материала с расположенной севернее обширной области сноса (Гипербореи или Арктиды по Хаину В.Е.). Более молодой палеозой-мезозойский Новосибирско-Северочукотский мегапрогиб также рассматривается исследователями как рифтогенный. И наконец, к числу кайнозойских структур аналогичного генезиса отнесены Южно-Чукотский мегапрогиб и грабен Геральда [Natal'in et al., 1999]. Таким образом, результаты исследований последних лет дают основание считать, что ведущим тектоническим процессом, определяющим главные особенности тектонической инфраструктуры шельфа ВСМ, выступает permanently проявляющийся рифтогенез. Исходя из этого, в основу легенды тектонической карты были положены пространственно-временные закономерности этого тектонического процесса.

Легенда карты

В основе легенды лежит тезис о том, что осадочные толщи, не испытавшие деформаций, можно считать «прозрачными» и отражать их присутствие лишь оттенком цвета, присвоенного подстилающим их деформированным комплексам. Последние разделяются на коллизионные и дилатационные. Ввиду преобладания в данном регионе структур растяжения в легенде предусмотрено их разделение по интенсивности и возрасту проявления рифтогенеза. Интенсивность принимается пропорциональной глубине погружения поверхности разновозрастных комплексов основания, а эти глубины отражены на карте в соответствии с построениями Хаина В.Е. и Поляковой Н.И., Богданова Н.А. и зарубежных авторов [Fujita & Cook, 1990; Moore et al., 2002 и др.]. Возраст консолидации коры, соотношенный с геохронологической шкалой, и глубиной залегания ее поверхности положен в основу простой легенды, построенной по двум признакам, каждый из которых имеет количественную характеристику. При этом возраст консолидации основания от древних к молодым отражен в цветах радуги, что позволяет читать информацию на карте, не заглядывая в условные знаки. Доминирующий тектонический процесс, которому в легенде отведена вся цветовая гамма, дополняется наложенными процессами, в качестве которых выступают проявления магматизма, повторный орогенез и т.п. Результатам проявления этих процессов отведена штриховая часть легенды.

Методика построения карты

Начальным этапом построения карты являлось районирование шельфа по характеру соотношения аномальных физических полей - магнитного и гравитационного со структурой осадочного чехла, построенной по сейсмическим данным. Поиск коррелируемых признаков этих полей между собой и со структурой производился программными средствами среды ArcGIS в интерактивном режиме и дублировался



название прогиба	индекс	площадь, км ²	объем, км ³
Новосибирский	НС	50172,085	404449,47
Восточно - Генриеттский	ВГ	36242,976	403104,98
Фаддеевский	Ф	15385,127	133040,97
Восточно- Сибирский	ВС	38114,567	306302,89
Северо-Чукотский	СЧ	64583,899	399387,82
Вилькицкого	В	44240,895	223172,21
Лонга	Л	19198,866	243665,43
Хоуп	Х	98207,025	1278931,62
Геральдский	Г	17165,48	209902,03

Рис. 1. Разделение осадочных бассейнов Восточно-Сибирского моря на три генетических типа (показаны разными цветами) по соотношению объема и площади (интенсивности процессов рифтогенеза)

геофизических данных, включающей материалы площадных съемок потенциальных полей и сейсмического профилирования, а также наземных геологических исследований, в частности, петрофизические данные. Перечисленные данные дополнялись полученными непосредственно на опорном профиле.

традиционным способом путем визуального анализа и сопоставления аномальных полей и структурных схем. Итогом явилось разделение шельфа на отдельные ареалы, обладающие сравнительно однородным отражением в физических полях и рельефе поверхности консолидированной коры и ограниченных в той или иной степени выраженными линейными аномальными или градиентными зонами. Первые отражают элементы блоковой делимости земной коры - поднятия и впадины в рельефе фундамента, а вторые рассматриваются как регмагенное ограничение выделенных блоков. Этот этап построения карты достаточно формализован, что делает полученный результат объективно воспроизводимым. Построения выполнялись с использованием предварительно составленной цифровой базы геолого-

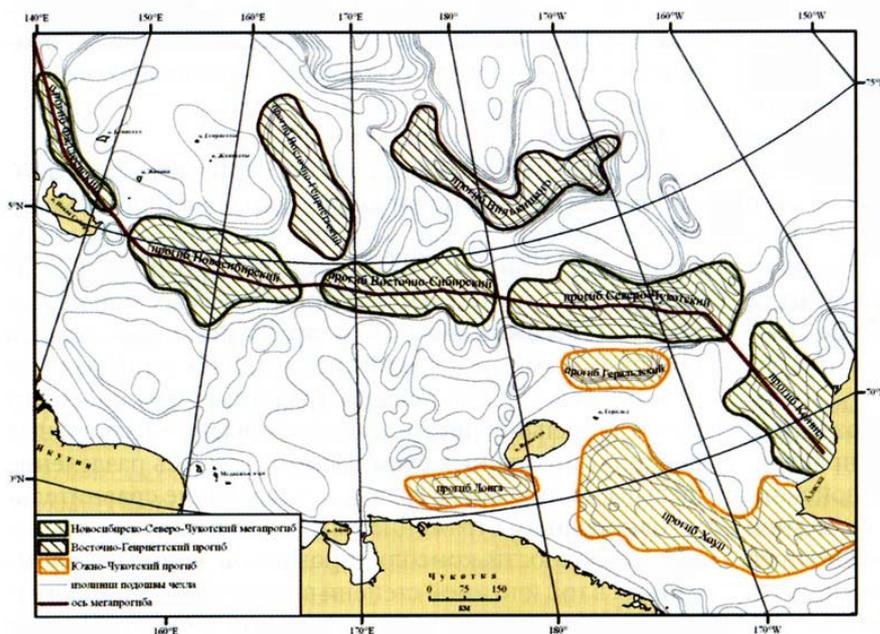


Рис. 2. Разновозрастные осадочные бассейны Восточно-Сибирского моря (контуром различного цвета показаны системы прогибов различных генераций, выделенных на рис. 1)

На следующем этапе выделенные ареалы были объединены в обособленные тектонические области, обладающие однотипными геофизическими признаками и интерпретируемые как геоструктуры первого порядка. С этой целью были вычислены площади впадин и объемы их осадочного выполнения (таблица на рис. 1), соотношение

которых рассматривается как показатель активности тектонического процесса, обусловившего формирование впадины. Это позволило выделить три генетически разнородных и разновозрастных группы впадин (рис. 1). Положение регмагенных границ, разделяющих крупные геоструктуры, определялось путем вычисления горизонтальных градиентов глубины залегания подошвы осадочного чехла и уточнялось по вторым производным этой функции (рис. 2). Обособление площадей развития различных по составу магматических образований было выполнено на основе статистической обработки петрофизических данных, которая показала, что при решении обратной петрофизической задачи горные породы могут быть разделены на три класса: осадочные, кислые изверженные породы (включая метаморфиты различного состава) и базитовые породы (в интрузивной и эффузивной фациях) (рис. 3).

Завершающей операцией построения карты была возрастная интерпретация выделенных элементов районирования, что полностью является концептуальной процедурой, в основе которой лежат установленные или предполагаемые оценки времени завершения в пределах той или иной геоструктуры основного этапа консолидации коры (рис. 4).

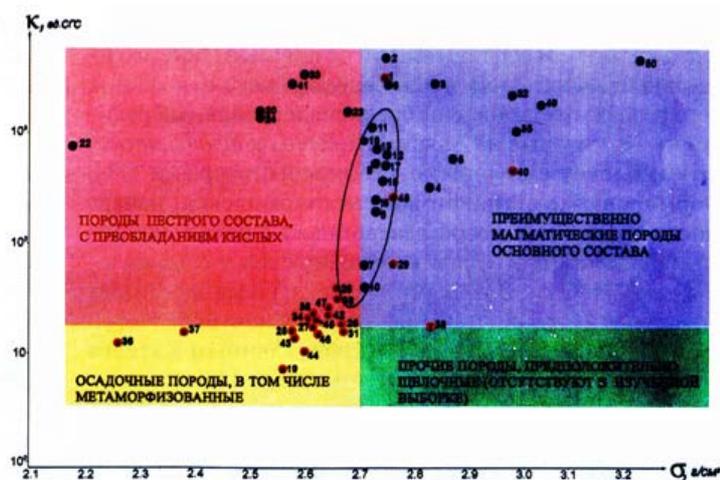


Рис. 3. Типизация горных пород, развитых в регионе, по соотношению петрофизических свойств: плотности (ось абсцисс) и намагниченности (ось ординат)

Возрастные соотношения геоструктур

Относительные временные соотношения показанных на карте разновозрастных блоков определялись по степени идиоморфности их контуров, гетерогенности их внутренней структуры, и уточнялись по геологическим данным, в первую очередь по непосредственным определениям возраста последней фазы минералообразования. Наиболее древними образованиями являются фрагменты Арктиды (или Гиперборейской платформы), которые представлены в фундаменте массивов Де-Лонга, Сьюардского блока, Врангелевско-Геральдского террейна а также, предположительно, поднятия Менделеева. Общность строения этих геоблоков предполагали Богданов Н.А., Хаин В.Е., Пушаровский Ю.М. и отчасти зарубежные исследователи. Однако данные, полученные на профиле 5-АР, показали, что земная кора двух последних обладает заметными различиями. Врангелевско-Геральдский террейн отличается развитым гранитно-метаморфическим слоем, а в глубинной структуре массива Де-Лонга и Менделеевского поднятия, напротив, доминирует нижний, базитовый слой [Поселов и др., 2000]. Это не позволяет рассматривать их в качестве элементов единого кратона. Наличие этой разницы могло бы говорить о более древнем возрасте Врангелевско-Геральдского террейна и его родстве с Сибирским кратоном, если бы не влияние спрединга в СЛО на растяжение коры в смежных регионах. На основании этого было сделано предположение, что региональная

структура Новосибирско-Северочукотского мегапрогиба (НСЧМ), как зона рифтогенного растяжения земной коры, была заложена на границе между разновозрастными областями древней Арктиды. Исходя из этого, на составленной карте показано, что блоки с толстой континентальной корой, располагающиеся к югу от НСЧМ интерпретируются как фрагменты эпигренвильской платформы, а блоки северу от него - как части более древней карельской Арктиды.

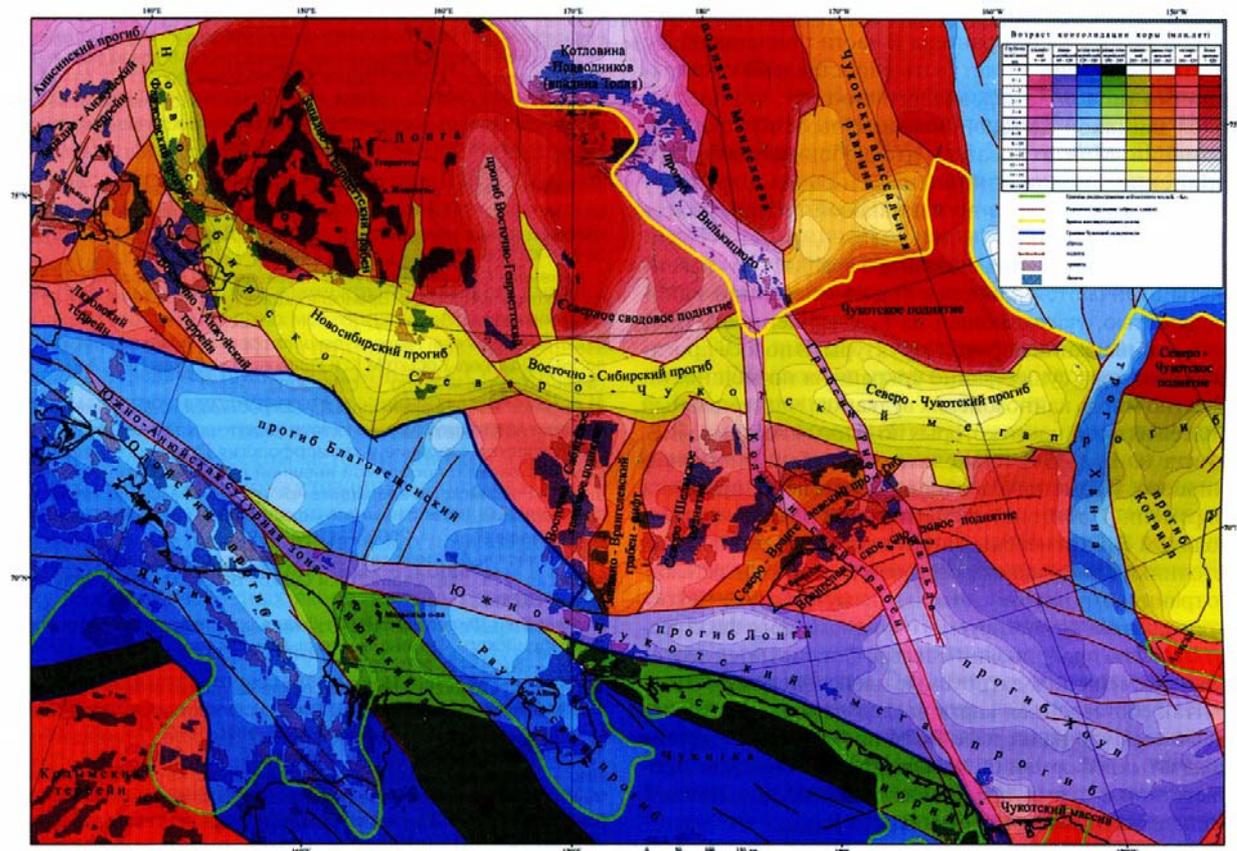


Рис. 4. Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря и прилегающих территорий (масштаб карты в бумажной версии — 1:2 500 000; цифровая версия в среде ArcGIS)

Сейсмические данные МОВ, полученные на профиле 5-AP, позволяют выделить в разрезе южного склона Северо-Врангелевского террейна мощную слабо дислоцированную толщу, выполняющую трог глубиной в наиболее прогнутой части до 6-8 км. Толща сопоставляется с неопротерозойским геосинклинальным врангелевским мегакомплексом, который слагает на о. Врангеля эпигренвильский чехол, отчасти затронутый байкальским тектогенезом [Каменова и Ильченко, 1978]. Подобные случаи, по мнению Хаина В.Е. имеют место в тектонических обстановках, когда трансформация геосинклинального режима в платформенный происходит эмерджентно, путем постепенной проградации шельфовых фациальных обстановок и пассивного заполнения осадками океанического (геосинклинального) депонцентра. Сравнительно более древний возраст этого Северо-Врангелевского трога согласуется с его гетероморфностью по отношению к Новосибирско-Северочукотскому мегапрогибу.

Кора последнего резко сокращена по мощности и содержит гипертрофированный осадочный слой (мощностью не менее 16 км). Наиболее древние отложения в его разрезе представлены среднепалеозойскими отложениями, которые на Аляске отнесены к *франклинскому* комплексу силурийско-девонского возраста [Moore et al., 2002]. Формирование синрифтового мегакомплекса, начавшись в среднем палеозое, завершилось к началу накопления койлогенного *брукского* комплекса, т.е. не позднее раннего мела. Возраст цирконов из посторогенных гранитных интрузий в Анюйско-Чукотской

складчатой системе по опубликованным в 2009 г. данным Каткова С.М. с соавторами находится в интервале 117-105 млн. лет (рубеж апта и альба), что указывает на более древний возраст магматизма по отношению к несогласию в окрестностях Новосибирского архипелага по данным Косько М.К. В свою очередь, в составе складчатых структур на Новой Сибири (в Деревянных горах) Косько М.К. установлены не только верхнемеловые отложения, но и неогеновые, что указывает на кайнозойский возраст складчатости, а не позднемезозойский, предполагаемый многими авторами. Эта информация хорошо коррелируется с данными Лотамера Р. [*Lothamer, 1992*] по северу Чукотского моря о проявлении там раннетретичных разломов (wrench faulting), вызванных спредингом в СЛО, а не коллизионными процессами на шельфе.

На основании приведенных данных сделан вывод, что локальное проявление киммерийских деформаций в узкой полосе на о. Врангеля и части прилегающей с востока акватории может быть сопоставлено с напряжениями типа *strike-slip*, аналогично тому, что предлагается для такой же узкой полосы Новоземельских деформаций. Можно полагать, что в обоих случаях киммерийские дислокации наложились на структуру гренвилевского кратона по одинаковой геодинамической схеме *pull-apart*.

Колючинско-Мечигменский и Геральдский грабен-рифты отличаются наиболее ярко выраженной идиоморфностью, указывающей на незавершенность процесса стабилизации коровой структуры. В полосе прогиба земная кора существенно сокращена по мощности, известно много кайнозойских вулканов, максимальный всплеск их активности которых по данным Акинина В.В. и Апта Ю.Е. [*1994*] приходится на рубеж миоцена и плиоцена. Кроме того, в обилии встречаются признаки современной тектоно-магматической деятельности, а Поляком Б.Г. отмечены многочисленные термальные источники с аномальным составом растворенных газов. По граничному разлому, отделяющему прогиб от Чукотского массива и трассируемого по аномалиям физических полей на прилегающий шельф, фиксируются вертикальные смещения, датируемые плейстоценом.

Итак, составленная карта наследует тезис Шатского Н.С. о том, что на шельфе ВСМ происходит затухание складчатых деформаций, прослеживаемых на суше. В соответствии с этими представлениями не испытавшая коллизионной складчатости область Верхояно-Колымской геосинклинали прослежена на шельфе Благовещенским прогибом. На карте также реализовано положение о блоковой делимости структуры шельфа, высказанное Красным Л.И. и поддержанное Грамбергом И.С., Косько М.К., Пискаревым А.Л. и другими геологами. На составленной карте предложено дальнейшее развитие этой идеи и сделана попытка ранжировать по возрасту стадии рифтогенного дробления континентальной коры. Существующие взгляды на связь структур Чукотки и Западно-Арктического шельфа [*Российская Арктика..., 2002*] нашли отражение в прослеживании Колючинско-Мечигменского грабен-рифта. Он выступает как кайнозойская апикальная часть проградирующего рифтогенного прогиба, стадия break-up в котором зафиксирована средне-карбонной галогенной толщей в Баренцевом море, а зрелая стадия отражена пермскими клиноформными телами на траверзе Новой Земли и триасово-юрскими синрифтовыми комплексами в котловине Подводников. Из этого следует, что отмеченное Пчелиной Т.М. сходство триасовых отложений Чукотки и Баренцева моря обусловлено их принадлежностью к единому осадочному бассейну, рифтогенез в котором вызвал разобщение коровых структур массива Де-Лонга и поднятия Менделеева. Практическое значение этот вывод имеет в свете проблемы ВГКШ.

Авторы благодарны Довгань А.А. и Степановой Е.И., составившим цифровую версию карты.

ЛИТЕРАТУРА

Акинин В.В., Апт Ю.Е. Энмеленские вулканы (Чукотский п-ов): петрология щелочных лав и глубинных включений. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 97 с.

Богданов Н.А., Хаин В.Е., Штилов Э.В. Система кайнозойских рифтов Восточной Арктики и ее возможное значение / ДАН, 1995. Т. 345. №1. С.84-86.

Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А. [Осадочный чехол Восточно-Арктического шельфа России и условия его формирования в системе материк - океан](#). В кн.: 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане/ Под ред. Иванова В.Л. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 63-85.

Вольнов Д.А., Литинский В.А. Структурно-тектоническое райнирование акваторий шельфовых морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В кн.: Геология шельфа Восточно-Сибирских морей. Л.: НИИГА, 1976. С. 8-22.

Грамберг И.С., Пискарев А.Л., Беляев И.В. Блоковая тектоника дна Восточно-Сибирского и Чукотского морей по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий / Док. АН, 1997. Т. 352. № 5. С. 656-659.

Каменева Г.И., Ильченко Л.Н. Новые данные о возрасте метаморфического комплекса о. Врангеля/Докл. АН СССР, 1978. Т. 227. №2. С. 431-435.

Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология. /Под. ред. Косьюко М.К. и Ушакова В.И. Труды НИИГА - ВНИИОкеангеология. Т. 200. СПб, 2003.

Поселов В.А., Павленкин А.Д., Погребницкий Ю.Е., Буценко В.В., Сорокин М.Ю. Структура и эволюция арктической литосферы. В сб.: Геологическое строение и геоморфология Северного Ледовитого океана в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Арктическом бассейне. Научн. ред. Грамберг И.С., Комарицын А.А., отв. ред. Каминский В.Д. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. С. 94-109.

Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология // Гл. ред. Додин Д.А. и Сурков В.С. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002.

Хаин В.Е., Филатова Н.И. [От Гипербореи к Арктиде: к проблеме докембрийского кратона Центральной Арктики](#) // Докл. РАН. 2009. Т. 428. № 2. С. 220-224.

Fujita K., Cook D.B. The Arctic continental margin of eastern Siberia // The Geology of North America, v. L. The Arctic Ocean Region / Eds. A.Grantz, L.Johnson, J.F.Sweeny. The Geol. Soc. of Amer., 1990. P. 289-304.

Lothamer R.T. Early Tertiary wrench faulting in the North Chukchi Basin, Chukchi Sea, Alaska // ICAM abstracts. 1992. P. 34.

Moore T.E., Dumitru T.A., Adams K.E. et al. [Origin of the Lisburne Hills - Herald Arch structural belt: Stratigraphic, structural and fission-track evidence from the Cape Lisburne area, northwestern Alaska](#). / Eds. E.L.Miller, A.Grantz, S.L.Kemperer. The Geol. Soc. of Amer., Special Paper 360. 2002. P. 77-109.

Natal'in B.A., Amato J.M., Tozo J., Wright J.E. [Paleozoic rocks of northern Chukotka Peninsula, Russian Far East: Implication for the tectonics of the Arctic region](#) // Tectonics, 1999. Vol. 18. No. 6. P. 977-1003.

Ссылка на статью:



Верба М.Л., Беляев И.В., Штыкова Н.Б. **Тектоническая карта Восточно-Сибирского моря** // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 66-70.