

УДК 550.83:551.2(571.6)

АСТЕНОСФЕРА И ПЛИТЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

© 2007 г. Академик А. И. Ханчук, А. М. Петрищевский

Поступило 07.08.2006 г.

На территории Северо-Восточной Азии, севернее широты 56° , сочленяются три крупнейших литосферных плиты (Евразийская, Северо-Американская, Тихоокеанская) и ряд плит второго порядка (Амурская, Охотская, Берингоморская) [13], пространственно-временные взаимоотношения между которыми являются предметом острых дискуссий. Тектонисты диагностируют границы и кинематические характеристики плит, исходя из анализа тектоно-стратиграфических, палеогеографических, магматических и структурных признаков, наблюдаемых в тонком приповерхностном слое земной коры [2, 6, 7, 11–13], а сейсмологи – основываясь на пространственном распределении эпицентров землетрясений и вычислении векторов сейсмотектонических напряжений в полях сильных сейсмических событий [4, 13]. Эти две системы оценок далеко не всегда совпадают при характеристиках пространственных параметров и эволюции литосферных плит, в частности: местоположение современной границы Евразийской (ЕАП) и Северо-Американской (САП) плит различается более чем на 700 км у разных исследователей [6, 12, 13]. Новые данные о глубинном строении тектоносферы до глубины 150 км получены авторами в результате множественной формализованной интерпретации гравитационных аномалий, отвечающих классу компактных и эквивалентных им сферических возмущающих масс. Анализ объемной модели градиентов плотности позволил оценить пространственные параметры астеносферных линз и крупных тектонических пластин, сопоставление которых с геологическим строением приповерхностных тектонических комплексов существенно дополняет и корректирует представления о пространственных взаимоотношениях и особенностях эволюции литосферных плит Северо-Восточной Азии.

При отсутствии сейсмических и магнитотеллурических данных на большей части Северо-Восточного региона России и редкой сети термометрических измерений гравитационные аномалии являются здесь наиболее представительным источником информации о глубинном строении земной коры и верхней мантии. Однако с помощью гравитационного моделирования, основывающегося на блоково-слоистой аппроксимации геологического пространства [3], в этом регионе удалось отобразить только верхнюю (мезозойскую, как считают исполнители расчетов) границу астеносферного слоя. Глубинные пространственные параметры литосферных плит в этих моделях не диагностированы и не исследованы.

Новые возможности тектонической интерпретации гравиметрических данных в этом регионе были выявлены при анализе пространственных распределений вертикальных градиентов поверхностной плотности сферических источников гравитационных аномалий μ_z , эквивалентных плотностным неоднородностям широкого пространственного диапазона: $5 > \frac{\Delta H}{D} > 0.1$, где ΔH – вертикальная мощность элементарного геологического тела, D – его горизонтальные размеры. Физико-математическое обоснование и методика построения объемных моделей $\mu_z(x, y, z)$ подробно описаны в работах [8, 9], а сопоставление аномалий градиентов плотности μ_z с распределениями скорости сейсмических волн, электрических сопротивлений и тепловыми моделями земной коры и верхней мантии привело к выводу, что эта характеристика формализованного геологического пространства отображает степень жесткости тектонических сред. Максимум параметра μ_z соответствуют глубоко метаморфизованные блоки и пластины древней континентальной коры и нижнего слоя литосферы [8, 10], а минимумам – слои пониженной вязкости в подкоровом слое верхней мантии и астеносфере [9].

Целью настоящего сообщения является анализ объективной (т.е. не связанной с предшествующими геологическими данными и концепциями) объемной модели специализированного геологического пространства $\mu_z(x, y, z)$, используемой для

Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Институт комплексного анализа
региональных проблем
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Биробиджан

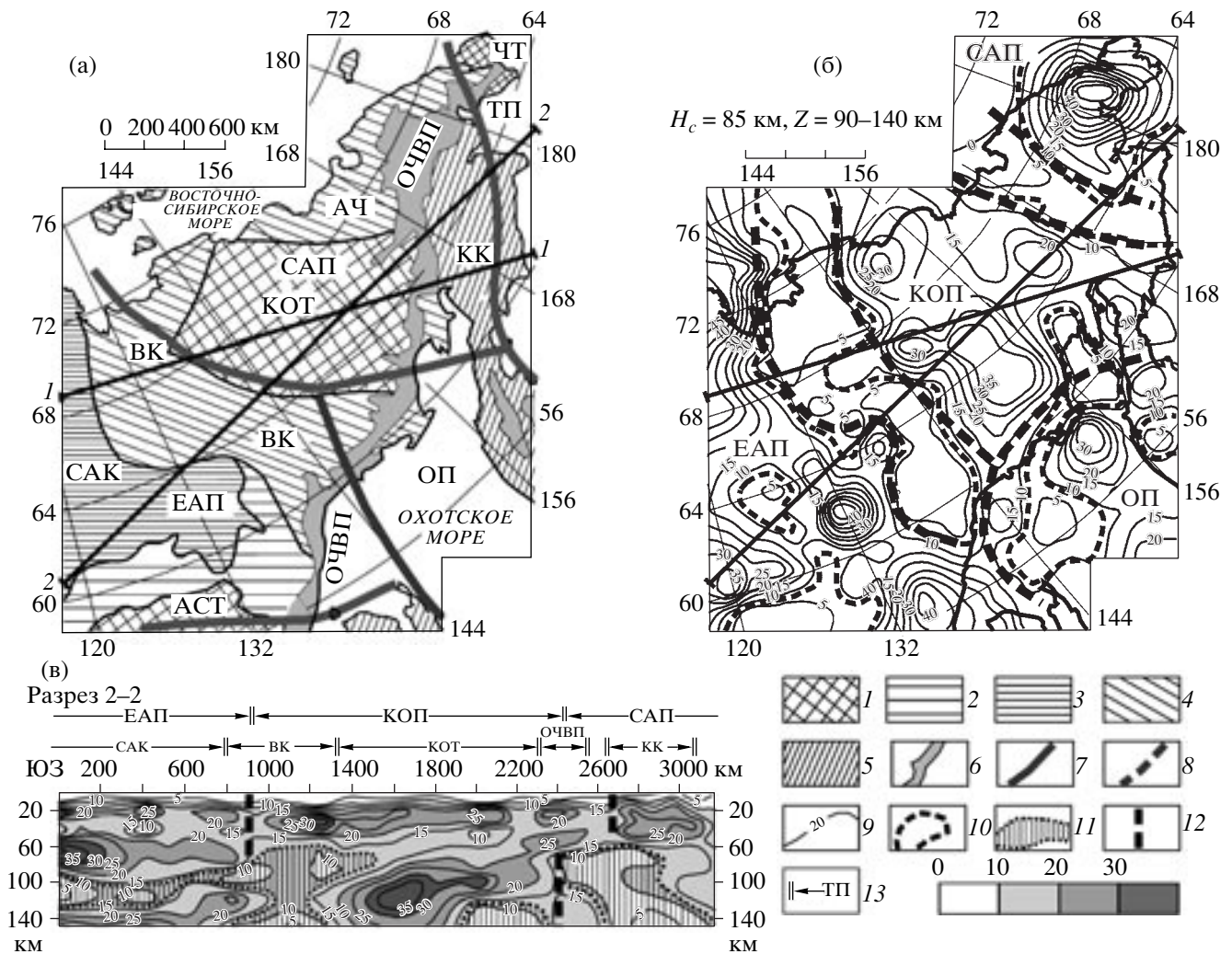


Рис. 1. Тектоническая схема Северо-Восточной Азии [13, 15] (а) и карта-срез градиентов плотности верхней мантии на глубине $H_c = 85$ км (б) с разрезом 2–2 (в). 1 – Террейны с дорифейской континентальной корой; 2, 3 – плитный чехол Северо-Азиатского кратона: палеозойский и раннемезозойский (2), позднемезозойский (3); 4, 5 – аккреционно-складчатые комплексы: палеозойские и раннемезозойские (4), позднемезозойские и кайнозойские (5); 6 – мел-палеогеновые вулканические пояса; 7, 8 – границы литосферных плит верхнекоровые (7) [13] и глубинные (8); 9 – изолинии параметра μ_z (10^{-2} кг/м²/км); 10, 11 – астеносферные линзы в плане (10) и разрезе (11); 12 – глубинные разломы; 13 – границы тектонических структур на разрезе и их обозначения; 14 – шкала раскраски разрезов (1 ед. = 10^{-2} кг/м²/км). H_c – глубина залегания урвневной поверхности, на которую конденсируются элементарные плотностные неоднородности слоя, заключенного в интервале глубин $Z_1 - Z_2$. Обозначения структурных элементов: плиты ЕАП – Евразийская, САП – Северо-Американская, КОП – Колымо-Омолонская, ОП – Охотоморская, ТП – Тихоокеанская; террейны с корой континентального типа: АСТ – Алдано-Становой, КОТ – Колымо-Омолонский, ЧТ – Чукотский; аккреционно-складчато-надвиговые системы: ВК – Верхояно-Колымская, АЧ – Аннойско-Чукотская, КК – Корякско-Камчатская; ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканический пояс.

диагностики и пространственной корреляции границ астеносферных линз и литосферных плит.

В разрезах тектоносферы Северо-Востока Азии до глубины 150 км от поверхности геоида (рис. 1в, 2б) отчетливо проявлено резкое различие распределений градиентов плотности под Северо-Азиатским кратоном (САК) и Колымо-Омолонским супертеррейном (КОТ). Земная кора и верхняя мантия кратона характеризуются поло-

гослоистым 6-слойным разрезом, типичным для районов с выраженным континентальным типом коры (Приамурье, Северо-Восточное Забайкалье, Северо-Западное Приохотье [9]), а в разрезе Колымо-Омолонского сегмента тектоносферы выявлены два слоя с высокими значениями градиентов плотности, различающиеся по морфологическим особенностям. Первый из них в интервале глубин 10–45 км отвечает нижнему (кристаллическому) слою земной коры, а второй отделен от

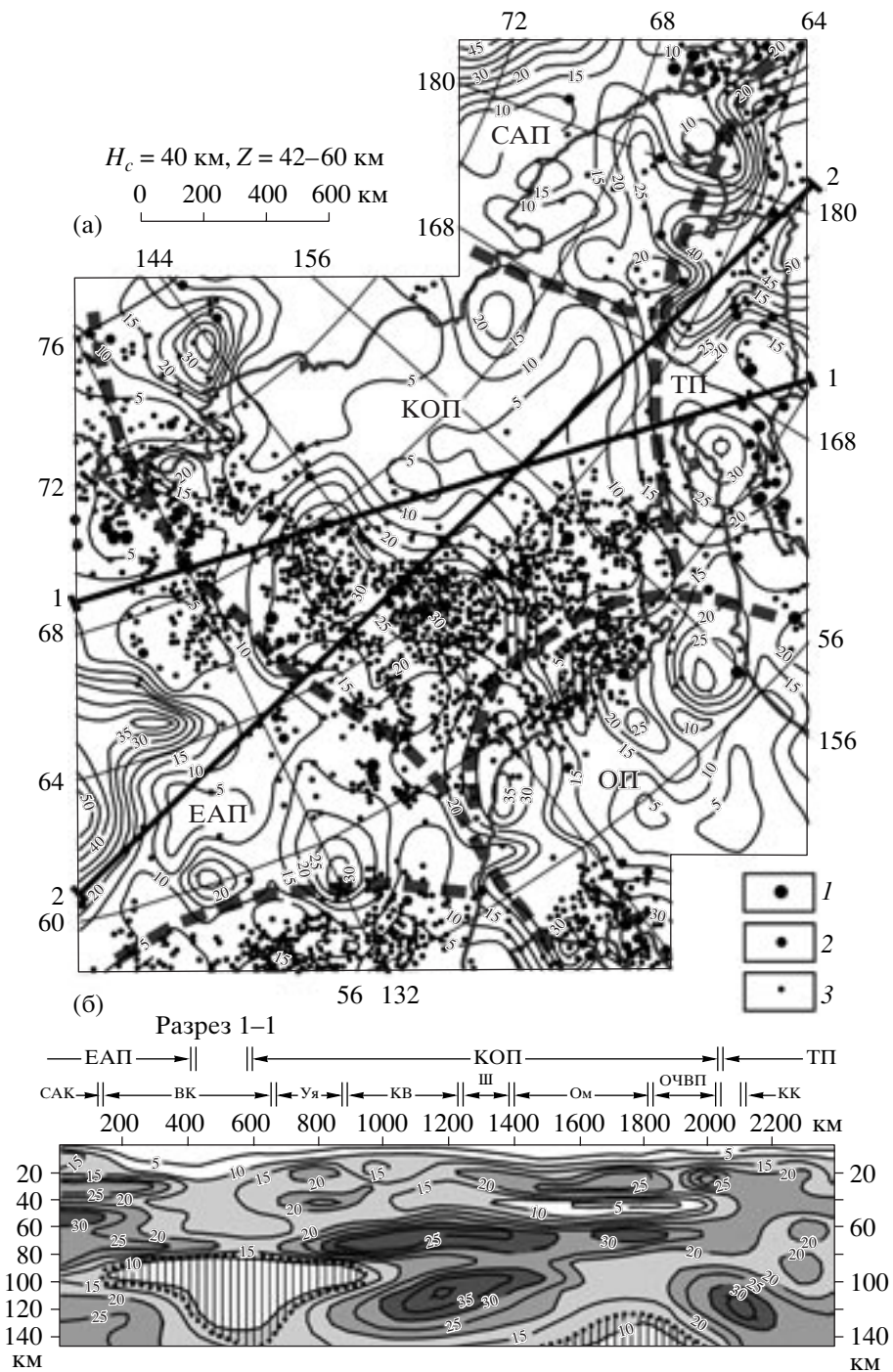


Рис. 2. Карта-срез градиентов плотности на глубине $H_c = 40$ км (а) с разрезом 1–1 (б). 1–3 – эпицентры землетрясений [13] с магнитудами: >6 (1), 4–6 (2), <4 (3). Обозначения тектонических структур 3-го порядка – террейны с континентальной корой: Уя – Уядинский, Ш – Шаманихский, Ом – Омолонский; КВ – Колымская впадина. Другие обозначения – на рис. 1.

первого слоем пониженной вязкости (зоной низких значений параметра μ_z) и характеризуется ступенчатым погружением в направлении от Северо-Американской плиты под Колымо-Омолонский супертеррейн (рис. 1в). Литосферный сегмент, приблизительно отвечающий местоположению КОТ,

отделен от смежных сегментов поднятиями слоя с низкими значениями градиентов плотности – астеносферными линзами (рис. 1б, 1в). Наблюдаемые распределения градиентов плотности позволяют предположить, что нижняя наклонная жесткая тектоническая пластина в разрезе верхней мантии

Колымо-Омолонского сегмента соответствует субдущированной Северо-Американской плите, а верхняя представляет собой самостоятельный тектонический элемент: буферную Колымо-Омолонскую плиту (КОП) 2-го порядка, подобную Амурской и Охотоморской. Тектоническую обособленность КОП подчеркивает периферическое расположение аккреционных и вулканических островодужных комплексов, близких к аналогичным комплексам Камчатки и Корякии, на юго-западных, северо-восточных и южных границах этой плиты [1, 7, 11, 13, 15], а признаки расщепления северо-американской литосферы вблизи меридиана 168° (рис. 1в, 2б) очень похожи на расщепление тихоокеанской верхней мантии в разрезах тектоносферы Охотского моря [9, рис. 3]. Вертикальные мощности жестких пластин в основании Колымо-Омолонской (25–35 км) и Охотоморской (35–40 км) плит также вполне сопоставимы. В допозднемезозойское время Колымо-Омолонская плита могла быть частью Северо-Американской плиты [13] или плиты Кула [11], так же как Охотоморская плита частью Тихоокеанской [2].

В свете полученных данных (рис. 1б, 1в; 2) вопрос о западной приповерхностной границе САП может быть решен в пользу предположения Л.М. Парфенова, который проводил ее по офиолитам Южно-Аннуйской зоны [6], однако правы и те исследователи [13], которые считают, что юго-западная граница КОТ (включаемого ими в состав САП) скрыта под складчато-надвиговыми комплексами Верхояно-Колымской системы. С последним предположением согласуются морфологические особенности разреза 1–1 на востоке Северо-Азиатского кратона (рис. 2б), которые свидетельствуют о направленном чешуйчатом западном смещении верхнекоровых тектонических пластин (соответствующих максимумам μ_z) относительно нижнекоровых и подкоровых. В связи с наклонным положением Северо-Американской плиты (рис. 1в, 2б) вопрос о ее глубинных западных границах имеет смысл лишь применительно к конкретным срезам тектоносферы. В том же аспекте следует рассматривать границы других литосферных плит в подкоровом (рис. 2а) и близастеносферном (рис. 1б) срезах.

В подкоровом (нижнекоровом) срезе (рис. 2а) Колымо-Омолонская плита (или микроконтинент) имеет существенно большие размеры, чем у поверхности Земли (рис. 1а). На юго-востоке она граничит с Тихоокеанской плитой, на юге – с Охотской, а на западе и юго-западе – с Евразийской, где ее кристаллическое основание (слой с максимальными градиентами плотности) инъецировано под аккреционно-складчатые и надвиговые комплексы Верхояно-Колымской системы (разрез 2–2, рис. 1в). Судя по распределениям градиентов плотности в приводимых разрезах, здесь,

как и на западной границе Северо-Американской плиты, произошло расщепление литосферы на два жестких слоя, верхний из которых (нижнекоровый) вместе с перекрывающими его складчато-надвиговыми комплексами был надвинут на Северо-Азиатский кратон, а нижний (литосферный) подвинут под него. Такое расщепление было возможным благодаря слою пониженной вязкости (отображаемому понижением градиентов плотности) в основании коры (интервал $x = 0–900$ км на разрезе 2–2, рис. 1в). Область максимумов параметра μ_z на южном фланге КОП охватывает Охотский терреин и продолжается в акваторию Охотского моря на расстояние до 500 км от побережья (рис. 2а). Наблюдаемые горизонтальные смещения и изменения ориентировок осей простирания μ_z -максимумов на границе КОП с Охотоморской плитой могут быть результатом сдвиговых деформаций, признаки которых установлены здесь геологическими наблюдениями [14].

Западный и южный фланги Колымо-Омолонской плиты сейсмически активны в полосе шириной 500–600 км (рис. 2а), а кинематический анализ разрывных структур [13] и расчеты векторов тектонических напряжений, сопровождающих сильные землетрясения [4, 13], привели к выводу, что начиная с палеоцена и до настоящего времени здесь преобладали раздвиговые и сбросо-сдвиговые деформации [13, рис. 1.16]. В подкоровом срезе верхней мантии сейсмически активная зона – пояс Черского [13] – совпадает с зоной высоких градиентов плотности (рис. 2а), простирающейся за пределы материка в акватории Восточно-Сибирского и Охотского морей. В Охотском море она смыкается с Сахалинским поясом корово-мантийной сейсмичности, а в Северном Ледовитом океане коррелируется с сейсмогенной зоной срединно-океанического хребта Гаккеля [5]. Такая корреляция указывает на наложенный характер сейсмического пояса Черского, пространственная связь которого с глубинными границами разновозрастных литосферных плит весьма опосредована. Неглубокое залегание эпицентров землетрясений (15–35, реже до 55 км [13]) позволяет уверенно коррелировать пояс Черского с западным флангом тонкой (мощностью 25–35 км) жесткой пластины, залегающей на выступе астеносферного слоя в основании Колымо-Омолонской плиты (рис. 1в). Приближение астеносферы до глубины 60 км от поверхности Земли в условиях континентального спрединга обеспечивает здесь условия для быстрого снятия тектонических напряжений, предвещающих сейсмические события в земной коре и подкоровом слое верхней мантии.

В близастеносферном срезе верхней мантии (рис. 1б) восточная граница ЕАП близка к границе Северо-Азиатского кратона (рис. 1а), а Колымо-Омолонская плита отделена от окружающих

литосферных сегментов поднятиями астеносферного слоя (минимумами градиентов плотности). Так же как в подкоровом срезе (рис. 2а), нижнелитосферные границы КОП смещены (развернуты по часовой стрелке) относительно приповерхностных контуров Колымо-Омолонского супертеррейна. Наблюдаемые смещения принципиально согласуются с результатами мезозойских палинспастических реконструкций [7], согласно которым первоначальное (J_3) движение КОТ происходило в юго-западном направлении, а после столкновения его юго-западного фланга с ЕАП направление движения супертеррейна изменилось на северо-западное. В свете рассмотренных моделей более вероятным представляется вызванный этим столкновением веерообразный разворот выше лежащих тектоно-формационных комплексов на южном фланге террейна относительно ниже лежащих с юго-запада на северо-восток (сравните юго-западные границы КОП на схемах 1а, 1б и 2а). Модель послонных перемещений КОП, возможных благодаря мезозойским гранитоидным магмам в среднекоровом слое [13] и вязким слоям – в основании коры (разрез 1–1 на рис. 2б) и литосферы (разрез 2–2 на рис. 1в), укладывается в систему сдвигов на раннемеловой трансформной окраине Азии [14], по которым в приповерхностном слое земной коры континентальной окраины преобладали северо-восточные и северные направления перемещений тектонических масс, прилегающих к континенту.

Рассмотренные модели дополняют и корректируют существующие представления о пространственных взаимоотношениях литосферных плит и крупных террейнов в Северо-Восточном регионе России. Будучи основанными на инаприорных формализованных расчетных процедурах в классе обратных задач гравитационного потенциала, обладающих внутренней (процедурной) единственностью решений, они являются объективным источником информации. При дальнейших исследованиях эти модели могут найти применение в изучении дискуссионных вопросов про-

исхождения и эволюции приповерхностных тектонических комплексов, палеогеодинамических реконструкциях и металлогенических прогнозах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Н.А., Тильман С.М. // Тихоокеан. геология. 1990. № 1. С. 20–30.
2. Богданов Н.А., Чехович В.Д. // Геотектоника. 2002. № 1. С. 72–85.
3. Вацлов В.Я., Гайдай Н.К., Максимов А.Е. и др. Астеносфера и литосфера Северо-Востока России (структура, геокинематика, эволюция). Магадан: Сев.-вост. комп. научно-исслед. ин-т, 2003. С. 135–142.
4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. // Геотектоника. 1995. № 1. С. 79–92.
5. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск: Ин-т земной коры, 2005. В. 2. С. 39–81.
6. Парфенов Л.М. Вопросы магматизма и тектоники Дальнего Востока. Владивосток: Дальневост. науч. центр, 1975. С. 3–25.
7. Парфенов Л.М. // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14. № 6. С. 32–43.
8. Петрищевский А.М. // Геофизика. 2005. № 5. С. 47–57.
9. Петрищевский А.М. // Физика Земли. 2006. № 8. С. 43–59.
10. Петрищевский А.М., Ханчук А.И. // ДАН. 2006. Т. 406. № 3. С. 384–387.
11. Соколов С.Д., Диденко А.Н., Григорьев В.Н. и др. // Геотектоника. 1997. № 6. С. 72–90.
12. Churkin M. // Bull. Geol. Soc. Amer. 1973. V. 83. № 4. P. 1027–1036.
13. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 571 с.
14. Ханчук А.И., Иванов В.В. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 9. С. 1635–1645.
15. Чехов А.Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии. М.: Науч. мир, 2000. 204 с.