

ХЕЙЛУНЦЗЯНСКИЙ КОМПЛЕКС – ФРАГМЕНТ ЮРСКОЙ АККРЕЦИОННОЙ ПРИЗМЫ В ТЕКТОНИЧЕСКИХ ОКНАХ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ПЛИТЫ: МОДЕЛЬ ПЛОСКОЙ СУБДУКЦИИ

В.В. Голозубов¹, А.И. Ханчук^{1,2}

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: golozubov@fegi.ru

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

Поступила в редакцию 15 января 2021 г.

Циркум-тихоокеанские позднеальб-сеноманские орогенные пояса (включая Сихотэ-Алинь-Западно-Сахалинский) сформировались в результате деформации преимущественно эпиокеанических террейнов – фрагментов юрско-раннемеловых аккреционных призм с офиолитами и другими фрагментами океанической коры, турбидитовых бассейнов и островодужных систем. Западнее Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского пояса и ортогонально к нему располагаются структуры более ранней консолидации, которые включают Бурей-Цзямусы-Ханкайский фрагмент орогенного пояса позднекембрийско-раннеордовикской консолидации позднепротерозойских-кембрийских комплексов. В пределах этого пояса закартированы четыре изолированных выхода комплекса Хейлунцзян, объединяющего метаморфиты эпидот-амфиболитовой и глаукофан-сланцевой фаций и представляющего собой фрагмент аккреционной призм юрского возраста. Предполагалось, что эти выходы маркируют сутуру, т.е. представляют собой остатки захлопнувшегося палеоокеана Муданьцзян, отделявшего первоначально террейн Цзямусы (да и весь Бурей-Цзямусы-Ханкайский пояс) от расположенных западнее структур Центральной Азии. В предлагаемой статье приводятся данные о том, что комплекс Хейлунцзян отнюдь не маркирует сутуру, а представляет собой выведенное на поверхность на участке антиформного перегиба подземное близгоризонтально залегающее продолжение окраинно-континентальной юрской аккреционной призм Сихоте-Алинского пояса (модель плоской субдукции). Единство сравниваемых частей аккреционной призм подчеркивается сопоставимым возрастом матрикса, однотипностью популяций детритовых цирконов и сходством состава и возраста океанических включений (известняки, кремни, базальты, габброиды и серпентиниты). Важной общей особенностью в обоих случаях является отсутствие в матриксе следов надсубдукционного вулканизма и детритовых цирконов моложе 167 млн лет. Комплекс Хейлунцзян выходит, согласно этой трактовке, в тектонических окнах среди более древних образований террейна Цзямусы. Для объяснения формирования Хейлунцзянского комплекса нет, таким образом, необходимости предполагать существование океана Муданьцзян. Особенности строения этого комплекса и условия его залегания могут быть объяснены процессами плоской субдукции тихоокеанского слэба в юре и его деформированием в раннемеловое время.

Ключевые слова: комплекс Хейлунцзян, юрская аккреционная призма, метаморфизм высоких давлений, изотопная геохронология, плоская субдукция, Северо-Восточный Китай.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время можно считать установленным, что наиболее ранние циркум-тихоокеанские позднеальб-сеноманские орогенные пояса (включая Сихотэ-Алинь-Западно-Сахалинский) сформировались в результате деформации преимущественно эпиокеанических террейнов – фрагментов юрско-

раннемеловых аккреционных призм с офиолитами и другими фрагментами океанической коры, турбидитовых бассейнов и островодужных систем [20]. Позднеальб-сеноманский орогенез стал заключительным этапом косоугольного столкновения относительно неподвижного континента и плит Палеоокеании, активно перемещавшихся в раннем мелу с юга и юго-востока на север и северо-запад [1, 4, 20]. В резуль-

тате такого столкновения в раннемеловое время была сформирована гигантская система окраинно-континентальных левых сдвигов [7, 13, 65, 66 и др.]. Эта система включает главные разломы Сихотэ-Алиния и расположенных западнее территорий – Дунхуа-Мишаньский (Алчанский), Арсеньевский, Центральный Сихотэ-Алинский и др. [7, 65, 66]. Суммарные перемещения вдоль этих разломов достигали сотен, а по некоторым оценкам [4, 33], и нескольких тысяч километров. На значительном протяжении вдоль северо-западной границы доюрского континента прослеживаются террейны-фрагменты юрской аккреционной призмы (Самаркинский, Наданьхада-Бикинский и др.) [3, 8].

К западу от позднеальб-сеноманского орогенного пояса и ортогонально к нему располагаются структуры более ранней консолидации, которые включают (с севера на юг, рис. 1):

1. Монголо-Охотский пояс консолидированных на границе ранней-средней юры палеозойских и раннемезозойских комплексов [51].

2. Буря-Цзямусы-Ханкайский (БЦХ) фрагмент орогенного пояса позднекембрийско-раннеордовикской консолидации позднепротерозойских-кембрийских комплексов [10, 44, 68].

3. Среднетриасовый Солонкерский орогенный пояс консолидации палеозойских и раннетриасовых комплексов [10, 34].

Западнее пояса БЦХ располагается меловая впадина Суньяля, основание которой, по данным бурения, состоит преимущественно из палеозойско-мезозойских гранитов и палеозойских вулканических пород с незначительным присутствием мезопротерозойских гранитоидов [44, 60 и ссылки в них]. Между блоком Цзямусы и впадиной Суньяля находится субмеридиональное поднятие хребтов Малый Хинган-Чжангуанцай (LesserXing'an-Zhangguangcai Range), сложенных позднепалеозойскими и мезозойскими гранитоидами с редкими остатками палеозойских отложений [32, 61]. На восточных подножьях этих хребтов закартированы четыре изолированных выхода голубых и зеленых сланцев, метабазальтов и других пород Хейлунцзянского комплекса, возраст и геодинамическая природа которых была предметом дискуссий [62] (рис. 2).

В последние годы детальные геологические, геохронологические и геохимические исследования позволили установить, что Хейлунцзянский комплекс представляет собой фрагмент юрской аккреционной призмы [62].

Было высказано предположение о существовании триасового океана Муданцзян и предложены

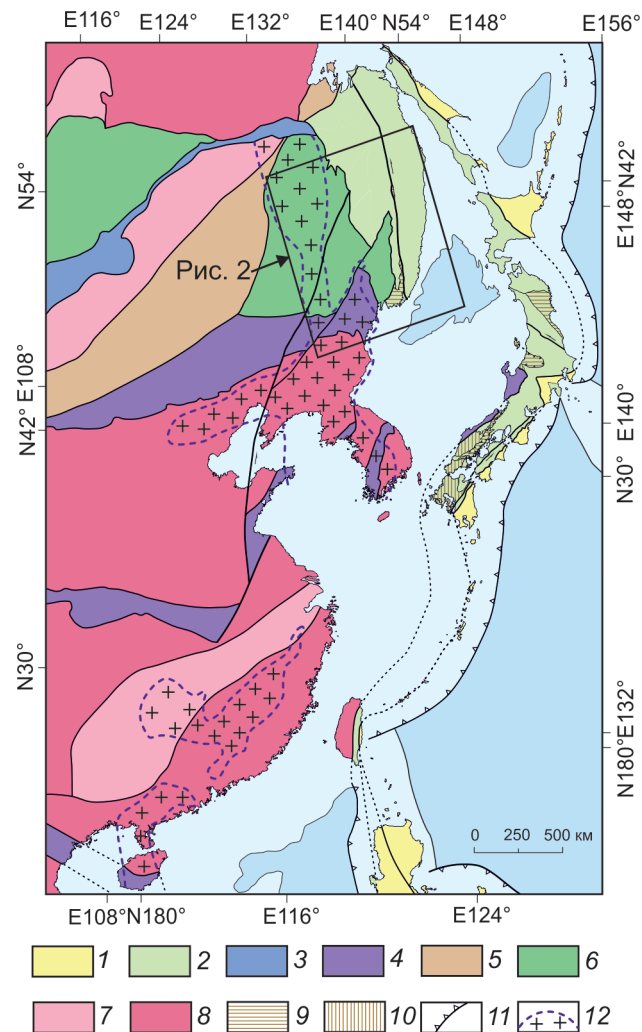


Рис. 1. Кратоны и орогенные пояса Восточной Азии.

1–7 – орогенные пояса кайнозойского (1), позднеальб-сеноманского (2), ранне-среднеюрского (3), среднетриасового (4), позднепалеозойского (5), позднекембрийского (6), позднепротерозойского (7) возраста; 8 – кратоны; 9–10 – палеозойские клиппы и блоки в составе средне-позднеюрских аккреционных комплексов: 9 – континентальных пород и 10 – аккреционных призм; 11 – зоны субдукции; 12 – восточная провинция поздне-триасово-раннеюрских (230–190 млн лет) посторогенных гранитоидов.

противоречивые реконструкции его закрытия с субдукцией на запад и восток [26] или только на запад [32]. Однако само существование этого палеоокеана в силу ряда обстоятельств (изолированность выходов Хейлунцзянского комплекса, сложность палеотектонической реконструкции субмеридионального триасового океана, не имеющего продолжения на юг и на север), представляется сомнительным. Ниже предложена иная модель формирования комплекса Хейлунцзян в связи с особенностями юрской субдукции плит Палеоафрики под Евразийскую плиту.

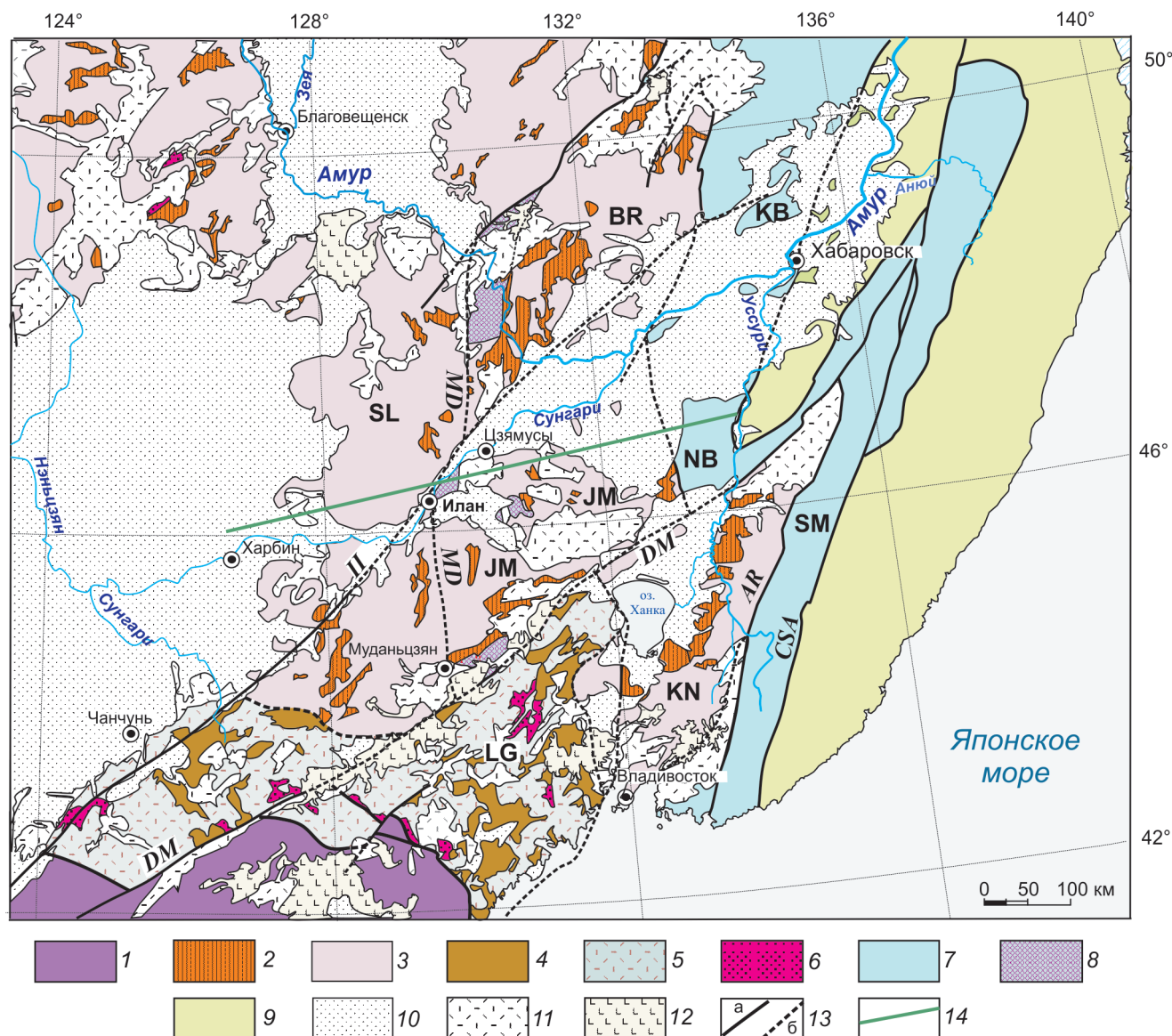


Рис. 2. Тектоническая схема Северо-Востока Китая и прилегающей территории Дальнего Востока России. По [5] с дополнениями.

1 – Сино-Корейский кратон; 2–3 – раннепалеозойский орогенный пояс, включающий Ханкайский (KN) и Буреинский (BR) супертеррейны, террейны Цзямусы (JM) и блок Суньяо (SL): 2 – останцы выходов образующих террейны комплексов (PT_3 – PZ_1), 3 – син- и постааккреционные гранитоиды палеозоя и мезозоя, фрагменты палеозойского чехла; 4–6 – позднепалеозойский-раннемезозойский Солонкерский орогенный пояс, Лаоэлин-Гродековский (LG) террейны; 4 – останцы выходов образующих террейны нижнесилурийских и пермских образований, 5 – син- и постааккреционные гранитоиды (P_2 – MZ), 6 – зоны динамометаморфизма (T_{1-2} ?); 7–8 – террейны Сихотэ-Алинь–Северо-Сахалинского орогенного пояса: 7 – юрские, в том числе Хабаровский (KV), Наданьхада-Бикинский (NB), Самаркинский (SM), а также син- и постааккреционные образования (K_1 – KZ), 8 – метаморфиты Хейлунцзянского комплекса (J); 9 – раннемеловые террейны и син- и постааккреционные образования (K_2 – KZ); 10–11 – образования терригенного и вулканогенного чехла кайнозойского (10) и мезозойского (11) возраста; 12 – кайнозойские платобазальты; 13 – разломы установленные (a) и предполагаемые (б), в том числе Илан-Итунский (II), Муданцзянский (MD), Дуньхуа-Мишаньский (DM), Арсеньевский (AR), Центральный Сихотэ-Алиньский (CSA); 14 – линия разреза, приведенного на рис. 6.

ХЕЙЛУНЦЗЯНСКИЙ КОМПЛЕКС

Хейлунцзянский комплекс образует вытянутую в меридиональном направлении цепочку из четырех выходов (рис. 2) [22, 62, 72, 77]. Северный выход установлен на правобережье р. Амур (район г. Люобей), два

центральных – в районе г. Илан и г. Хунань, и южный – в районе г. Муданцзян. На левом берегу р. Амур продолжение комплекса Хейлунцзян представлено уральской свитой (комплексом) [11]. С запада эти выходы ограничены зоной Муданцзянского разлома [60].

Состав и геодинамическая природа Хейлунцзянского комплекса

Хейлунцзянский комплекс включает терригенные, карбонатные, кремнистые и вулканогенные породы, метаморфизованные в амфиболитовой, либо в высокобарической эпидот-глаукофан-сланцевой фации. Пиковые значения P-T для голубых сланцев пересчитаны на уровне 320–180 °C и 8–16 кбар, тогда как P-T условия пика амфиболитов рассчитаны как 10.9 кбар и ~ 622 °C. Пиковые P-T условия голубых сланцев в районе Илань оцениваются в 9–11 кбар при 320–450 °C, тогда как P-T условия амфиболитов составляют 10–13 кбар при 500–580° [22 и ссылки в ней]. Эти оценки соответствуют глубине около 30 км. Среди пород комплекса наиболее распространены образованные за счет терригенных, преимущественно глинистых пород слюдиисто-гранатовые сланцы с различными соотношениями биотита, мусковита, граната, полевых шпатов и кварца. Менее распространены зеленые и голубые сланцы и амфиболиты, образованные за счет вулканитов основного состава. Комплекс включает также тектонические линзы мраморов и кварцитов (метакремней), а также серпентинитов, образованных за счет дунитов, лерцолитов и гарцбургитов [76]. Этот комплекс с самого начала считался более молодым, чем метаморфиты докембрийской машаньской серии блока Цзямусы, и на геологической карте [2] отнесен к ордовика–силуру. Однако выполненное в последние десятилетия изотопное датирование U-Pb методом аксессуарных и детритовых цирконов из пород комплекса привело к полному пересмотру представлений о времени их формирования в сторону значительного омоложения. Оказалось, что наиболее молодые популяции детритовых цирконов в метаморфических сланцах, сформированных из терригенных пород, охватывают возраст 190–167 млн лет (ранняя и средняя юра) [77]. Приблизительно 55 % детритовых цирконов дают возраст от 297 до 180 млн лет, с пиками в 270–245 млн лет, 230–200 млн лет и 200–180 млн лет, в то время как 27 % детритовых цирконов дают возраст 544–412 млн лет с пиком в 500–480 млн лет. Также были идентифицированы протерозойские детритовые цирконы (~ 15 %) с возрастом от 2352 до 595 млн лет, причем большинство из них датированы неопротерозом [26]. Ar-Ar датировки слюдистых минералов (фенгита, биотита и мусковита) метатерригенных пород (позволяющие судить о времени метаморфизма) сгруппированы в относительно узком интервале 178–146 млн лет (конец ранней–поздняя юра) [22 и ссылки в ней].

В составе пород, образующих комплекс Хейлунцзян, значительную роль играют зеленые и го-

лубые сланцы и амфиболиты – метаморфизованные базальты, порою сохранившие пиллоу-структуру, по геохимическим признакам сопоставляемые с толеитовыми базальтами E-MORB типа и со щелочными базальтами подводных гор (OIB типа) [30, 72, 76]. Датирование цирконов SHRIMP и LA-ICP-MS U-Pb методами показало, что возрасты протолита амфиболитов и голубых сланцев находятся в интервале 356–195 млн лет [22 и ссылки в ней, 27, 74]. Но также имеются LA-ICP-MSU-Pb датировки магматических цирконов из голубых сланцев от 162 до 142 млн лет [76].

В составе комплекса выявлены также кварциты с остатками радиолярий (метакремни?), иногда содержащие остатки Fe-Mn нодулей [72, 76]. Ассоциация перечисленных пород (а также тектонических линз серпентинитов) указывает на принадлежность их к офиолитам и прямо свидетельствует о том, что Хейлунцзянский комплекс содержит значительное количество материала океанического происхождения. В составе детритовых цирконов, содержащихся в различного рода слюдистых сланцах (метаморфизованных терригенных пород), установлена, как уже говорилось, постоянная примесь (до 15 %) зерен магматического происхождения с возрастом 300–2500 млн лет [30, 77], то есть речь идет о седиментации в обстановке окраины континента. Сочетание в одной структуре фрагментов океанических структур и осадочных пород приконтинентального происхождения, а также проявления в них глаукофан-сланцевого метаморфизма позволили сделать вывод о том, что комплекс Хейлунцзян представляет собой метаморфизованную зону меланжа в составе аккреционной призмы ранне-среднеюрского возраста [62, 72, 77]. Юрские метаморфизованные терригенные породы (а местами – серпентиниты) составляли, по-видимому, матрикс меланжа, а карбон-пермские и триасовые метабазальты, как и ассоциирующие с ними метаморфизованные кремни и карбонатные породы, образовали глыбы и пластины в этом меланже. Прямые подтверждения таких взаимоотношений наблюдались в карьерах около г. Илань, где слюдистые сланцы содержат глыбы и пластины голубых сланцев, амфиболитов и кварцитов размером от долей метра до 200 м [21]. Кроме того, в Хейлунцзянском комплексе присутствуют монцогранитовые жилы адакитового типа с возрастом 175–161 млн лет [22].

О роли разлома Муданьцзян в становлении структуры региона

Хейлунцзянский комплекс ограничен с запада субмеридиональным разломом Муданьцзян, который, как предполагается, разделяет разные террейны. На востоке это террейн Цзямусы и Буреинский супер-

террейн, а на западе – блок с разными названиями (Songliao, Songliao-Xilinhot, Songnen–Zhangguangcai Range Massif (block) [28, 60 и др.]. Мы будем использовать название блок Суньяля.

Террейн Цзямусы и примыкающий к нему Ханкайский супертеррейн имеют однотипное строение и хорошую корреляцию геологических событий в интервале около 755–115 млн лет. Наиболее древние комплексы террейна Цзямусы (от 895 млн лет) представлены позднепротерозойскими–раннекембрийскими протолитами, метаморфизованными в гранулитовой фации в кембрии–начале ордовика и с двумя комплексами раннепалеозойских гранитоидов – 530–502 и 490–470 млн лет [59, 68 и ссылки в ней]. Такие же позднепротерозойские и раннепалеозойские комплексы выделяются и в Буреинском и Ханкайском супертеррейнах [18, 47, 50]. Предполагается, что блок Суньяля отличается от террейна Цзямусы и Буреинского супертеррейна присутствием палеопротерозойских образований, вскрытых при бурении впадины Суньяля [59]. Однако раннедевонские отложения террейна Цзямусы и блока Суньяля являются однотипными как по фациям, так и по возрасту детритовых цирконов, что указывает на объединение этих блоков до раннего девона [44]. Сходство фаций и спектров распределения детритовых цирконов в пермских отложениях террейна Цзямусы и блока Суньяля [63] позволяет предполагать, что это объединение продолжалось и в пермское время.

В хребте Малый Хинган и к востоку от него одинаковые раннепалеозойские гранитоиды четырех этапов внедрения в интервале 505–450 млн лет распространены с обеих сторон разлома Муданьцзян [58], что предполагает для блока Суньяля и террейнов Бурейя–Цзямусинского пояса сходную переработку протерозойской и кембрийской коры, хотя блок Суньяля содержит более древний материал земной коры, чем террейны Бурейя–Цзямусинского пояса [60]. Однотипными являются и пермские гранитоиды блока Суньяля и террейна Цзямусы.

Преимущественно к западу от разлома Муданьцзян расположена субмеридиональная полоса plutonic и, реже, вулканических пород позднего триаса–начала ранней юры. Однако вулканические породы позднего триаса присутствуют и восточнее разлома Муданьцзян [35]. Позднетриасовые и раннеюрские магматиты этих районов с возрастом 230–190 млн лет представлены сходными бимодальными и щелочными сериями с гранитами и риолитами А-типа [53 и ссылки в ней, 54, 55], которые традиционно рассматриваются как образовавшиеся в результате постколлизийного растяжения после закрытия Палео-

Азиатского океана [35, 54]. Однако именно в связи с реконструированием океана Муданьцзян была попытка представить триасово-юрские магматиты хребтов Чжангуанцай–Малый Хинган составляющими надсубдукционную магматическую дугу [31, 32]. Триас-раннеюрские магматические породы хребтов Малый Хинган–Чжангуанцай являются частью крупного пояса таких пород с возрастом около 230–190 млн лет, который протягивается от Буреинского супертеррейна включительно [49] через доюрскую континентальную окраину Восточной Азии [53] до Юго-Восточного Китая [29] (рис. 1).

Юрские магматиты моложе 190 млн лет не имеют площадного распространения и в хребте Чжангуанцай представлены редкими мелкими интрузиями долеритов ОIВ-типа (около 188 млн лет) [28] и гранитов I-типа с возрастом от 191 до 163 млн лет [75], а в хребте Малый Хинган – монцогранитами адакитового типа и гранодиоритами (182 и 181 млн лет) [31].

Отметим, что на российской территории северное продолжение Муданьцзянского разлома не обнаружено. Урильская свита – продолжение комплекса Хейлунцзян – на левобережье р. Амур быстро выклинивается, погружаясь под раннепалеозойский гранитно-метаморфический комплекс [10]. На юге этот разлом причленяется к зоне Дунхуа–Мишаньского (Алчанского на территории Приморья) разлома – левого сдвига с амплитудой горизонтального перемещения не менее 250 км [65, 66]. Примечательно, что на схемах разломов системы Тянь-Лу, составленных исследователями этой системы Сюй Дзявеем [65, 66] и В.П. Уткиным [13 и др.], Муданьцзянский разлом вообще не фигурирует в силу его малого масштаба.

Таким образом, Муданьцзянский разлом следует считать второстепенным ответвлением от более крупного левого сдвига – Дунхуа–Мишаньского разлома. Он отнюдь не разделяет блоки с резко различающейся геологической историей, и невозможно представить его в качестве границы континент–океан в течение сотен миллионов лет, как это предложено в обсуждавшихся выше реконструкциях.

ЮРСКИЕ АККРЕЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ СИХОТЭ-АЛИНЯ – ВЕРОЯТНЫЕ АНАЛОГИ ХЕЙЛУНЦЗЯНСКОГО КОМПЛЕКСА

Строение юрских аккреционных комплексов Сихотэ-Алиня

Хабаровский и Наданьхада–Бикинский террейны расположены восточнее террейна Цзямусы и, соответственно, выходов Хейлунцзянского комплекса (рис. 2). Они являются звеньями в цепи террейнов – фрагментов юрской аккреционной призмы Восточ-

но-Азиатской окраины и образованы в процессе последовательного погружения плиты Палеоокеании под Евразийскую плиту [4, 8, 41, 45]. Наданьхада-Бикийский террейн на рассматриваемом участке располагается на участке изгиба аккреционной призмы, который образовался в результате выдвижения Ханкайского супертеррейна на северо-восток вдоль Дуньхуа-Мишаньского (Алчанского) разлома [17].

Хабаровский террейн представлен повторениями тектонических пластин и блоков разного размера, сложенных породами океанической плиты и терригенно-меланжевыми образованиями матрикса аккреционной призмы. Породы океанической плиты представлены кремнями и яшмами триаса и ранней юры и кремнисто-глинистыми отложениями аалена–байоса, которые сменяются аргиллитами позднего бата–среднего келловея. Матрикс аккреционной призмы сложен алевролитами и песчаниками оксфорда–титона [39 и ссылки в ней]. В субдукционном меланже, наряду с разновеликими обломками и пластинами кремней триасового и юрского возраста, присутствуют базальты, габброиды, позднекаменноугольные, пермские и поздне триасовые известняки и метаморфические сланцы [6 и ссылки в ней, 8, 39]. Титонский субдукционный меланж без видимого несогласия сменяется раннемеловыми песчаниками, которые мы рассматриваем как постсубдукционные отложения [8, 39, 40].

Наданьхада-Бикийский террейн географически разделяется на две части: юго-западную (Наданьхада или Вандашань) [70, 73], расположенную на территории Китая, и северо-восточную (Бикийскую) на территории России [8, 40]. На китайской территории в составе террейна выделено две структурные единицы. Из них верхнее положение занимает комплекс Юджиншан (Yuejinshan), нижнее – комплекс Раохе (Raohu) [73]. На российской территории выделяется три комплекса: Хорский (верхний, тоар-келловейский аналог комплекса Юджиншан), Уссурийский (средний, бат-оксфордский аналог верхней части комплекса Раохе, и Улиткинский (нижний, киммеридж-титонский – аналог нижней части комплекса Раохе [8, 40].

Комплекс Юджиншан представлен метаморфизованными в зеленосланцевой фации терригенными породами с пластинами metabазальтов, метагаббро и метаультрабазитов офиолитовой ассоциации, а также мраморов и кварцитов, содержащих иногда минералы высоких давлений и умеренных температур [73]. Протолит офиолитов сформировался в позднем карбон-ранней перми [69 и ссылки в ней]

Для зеленых сланцев комплекса имеется Rb-Sr датировка 188 ± 4 Ма (ранняя юра) [67]. Судя по геохимическим характеристикам, metabазальты от-

вечают составом MORB и OIB [25, 73]. Возраст матрикса комплекса Юджиншан не определен, но по полной аналогии возраста и состава палеоокеанических включений в Хорском комплексе, а также с верхними и наиболее древними комплексами юрской аккреционной призмы Самаркинского террейна, матрикс которых датирован по радиоляриям [8, 39, 40], может быть принят как поздне тоар-среднеюрский. Комплекс Юджиншан является полным аналогом калиновскому и себучарскому комплексам расположенного южнее Самаркинского террейна с ранне-среднеюрским возрастом терригенного матрикса [8, 40].

Располагающийся структурно ниже комплекс Раохе образован неметаморфизованными триасово-раннеюрскими кремнями, карбон-пермскими и триасовыми известняками и базальтами, образующими включения, глыбы и пластины в средне-позднеюрском терригенном матриксе [40, 42]. Следует отметить, что раннемеловые (берриасские) отложения комплекса Раохе отличаются от позднеюрских присутствием позднеюрской популяции детритовых цирконов, которые отсутствуют в позднеюрских отложениях [42]

Отличительной чертой комплекса Раохе является присутствие среднеюрской магматической ассоциации пироксенитов, габбро, плагиоклазитов, плагиогранитов и базальтов. Возраст базальтов и их туфов по цирконам – 172 млн лет [52], а плагиоклазитов и плагиогранитов – 167–169 млн лет [56] Эта ассоциация рассматривается как фрагмент океанского острова плюмового происхождения в аккреционной призме [52, 56]. Геохимические характеристики базальтов свидетельствуют об их принадлежности к OIB типу, т.е. к базальтам подводных гор [52, 57, 73].

Юрская часть комплекса Раохе является прямым аналогом юрской части Хабаровского, а также нижних структурных уровней аккреционной призмы Самаркинского террейна со средне-позднеюрским возрастом терригенного матрикса. Следует отметить, что в разных участках Самаркинского террейна с помощью радиоляриевого анализа определено время появления субдукционного меланжа в тоаре, т.е. около 180 млн лет назад, а время завершения субдукции – в титоне [8, 39, 40]. Берриасские отложения во фрагментах аккреционных призм Сихоте-Алиня развиты спорадически и представлены терригенными отложениями, наращивающими разрез титонского субдукционного меланжа [8, 39, 40]. Они резко отличаются от юрских популяциями детритовых цирконов [42]. Например, U-Pb возраст детритовых цирконов и изотопный состав Hf для кластических пород в составе комплекса Раохе и Хабаровского террейна указывают на значительные различия питающих провинций в юрское и

раннемеловое время. В частности, средне-позднеюрские песчаники дают самый молодой конкордантный возраст цирконов 167 млн лет, тогда как в раннемеловых песчаниках в числе других присутствуют цирконы от 167 до 140 млн лет [6, 42].

Сравнение Хейлунцзянского комплекса и аккреционных комплексов Сихоте-Алиня

Распределение возрастов детритовых цирконов и монацитов в Хейлунцзянском комплексе и в юрских аккреционных комплексах Сихоте-Алиня является однотипным (рис. 3). Совпадает возраст самых молодых цирконов (167 млн лет) и характер их распределения по возрасту, что указывает на единую питающую провинцию. Обращает на себя внимание, что в комплексе Раохе возраст 167–169 млн лет имеют океанические плагиограниты [56], а возраст базальтов – 172 млн лет [52].

Важной общей особенностью сопоставляемых Хейлунцзянского, Хабаровского, Наданьхада-Бикинского и Самаркинского аккреционных комплексов является наличие в их составе аллохтонного материала палеозойских базальтов двух океанических обстановок – типа N-MORB и OIB-типа с преобладанием последних [3, 12]. Примечательно отсутствие в терригенном матриксе Самаркинского террейна тяжелых минералов, характерных для вулканических дуг [9]. Таким образом, в сопоставляемых аккреционных призмах не обнаруживается влияния надсубдукционного вулканизма, как и следов надсубдукционного вулканического пояса конца ранней юры–титона (180–150 млн лет), родственного этим призмам [1, 4, 53, 64].

ОСОБЕННОСТИ РАННЕМЕЛОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ ХЕЙЛУНЦЗЯНСКОГО КОМПЛЕКСА

Метаморфиты комплекса Хейлунцзян обнаруживают следы интенсивнейших многоэтапных деформаций. Как показали исследования [21, 72, 77], сланцеватость метаморфитов, отвечающая заключительному этапу деформаций, имеет стабильное ВСВ (60–90°) простирание, то есть ориентирована практически ортогонально по отношению к меридиональному Муданьцзянскому разлому. Углы падения сланцеватости – от относительно пологих (20–45°) до вертикальных; не исключены и опрокинутые залегания. Детальные структурные исследования, проведенные в окрестностях г. Илан [21], показали, что выход комплекса Хейлунцзян этого района представляет собой ядро антиформы, на крыльях которой располагается аллохтонный комплекс, сложенный более древними образованиями террейна Цзямусы (рис. 4, 5). Формирование антиформы (и завершающего этапа деформаций в

целом) происходило в поле сжатия, ориентированного с ЮЮВ на ССЗ [21]. Вдоль разлома Муданьцзян, имеющего меридиональное простирание и ограничивающего выходы комплекса с запада, при таком направлении сжатия следует предполагать левосторонние перемещения (рис. 5).

Подобный парагенезис структурных элементов является обычным для Сихотэ-Алиня, он отражает раннемеловой этап деформаций (период трансформной окраины) [1, 4, 7, 13], то есть описанные деформации комплекса являются явно вторичными. Заложение разлома Муданьцзян произошло, по-видимому, именно в раннемеловое время, а наблюдающиеся вдоль него выходы комплекса Хейлунцзян образуют ядра антиформ, по сути – складок присдвигового волочения, быстро угасающих при удалении от материнского разлома.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ХЕЙЛУНЦЗЯНСКОГО КОМПЛЕКСА

На основе корректного определения Хейлунцзянского комплекса как фрагмента надсубдукционной аккреционной призмы сделаны далеко идущие и, на наш взгляд, весьма спорные выводы о том, что комплекс Хейлунцзян маркирует сутуру, т.е. представляет собой остатки захлопнувшегося палеоокеана Муданьцзян, отделявшего первоначально террейны Цзямусы (да и весь Бурей-Цзямусы-Ханкайский пояс) от расположенных западнее структур Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) [22, 26, 71, 75]. Более того, иногда предполагалось даже, что Бурей-Цзямусы-Ханкайский орогенный пояс представляет собой экзотическое образование – фрагмент Гондваны, аккретированный к ЦАОП в ранне-среднеюрское время [62]. На некоторых реконструкциях, основанных на приведенных выше датировках протолитов офиолитов, океан Муданьцзян существовал с раннего карбона до раннего мела [22] – более 200 млн лет, то есть его возраст и размер превышал возраст и размер, например, современного Атлантического океана, что, конечно, маловероятно.

Приведенные выше данные об аналогии состава Хейлунцзянского комплекса и юрской аккреционной призмы Сихоте-Алиня (без параллельной вулканической дуги) дают основание применить для объяснения структурного положения Хейлунцзянского комплекса модель плоской субдукции (flat-subduction, flat-slab-subduction). Современными примерами такого рода авулканических зон субдукции являются отдельные отрезки Андской окраины. Установлено, что надсубдукционные вулканические пояса не формируются при отсутствии астеносферного клина

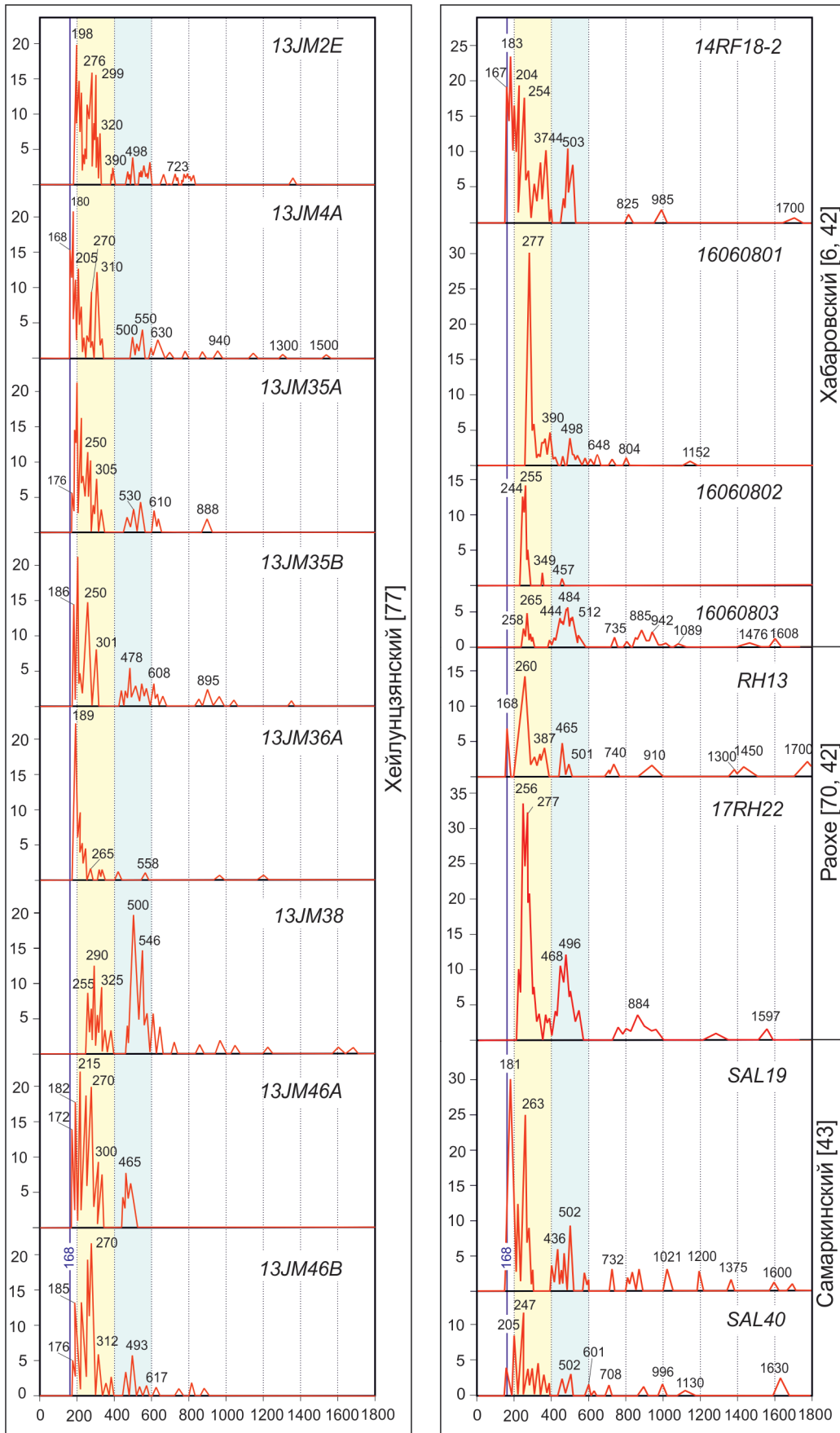


Рис. 3. Сравнение суммарных гистограмм распределения вероятностных зависимостей возраста основных генераций детритовых цирконов Хейлунцзянского [77] и Сихотелинских [6, 42, 43] аккреционных комплексов.

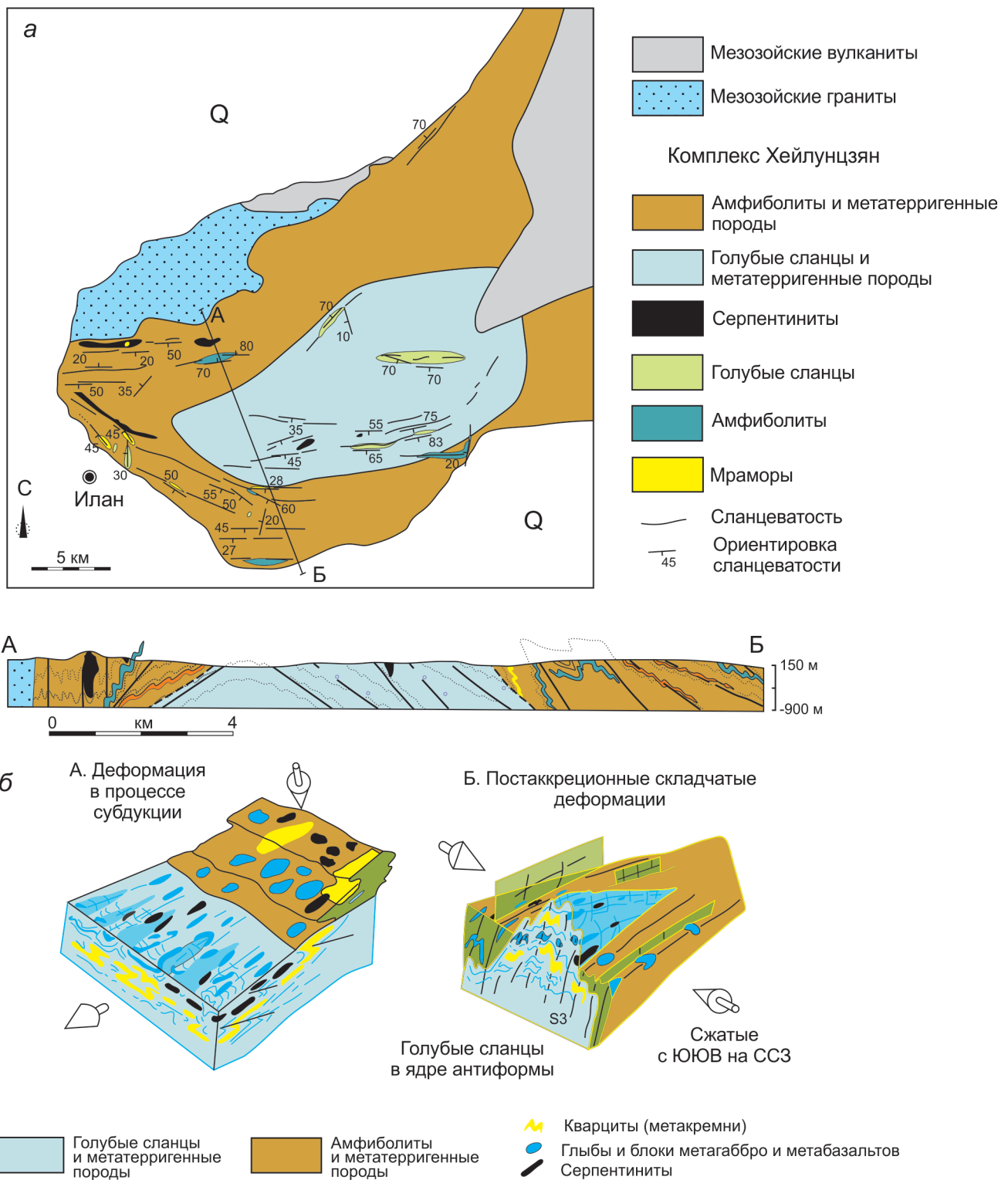


Рис. 4. Антиформа, образованная комплексом Хейлунцзян в районе г. Илан (по [21]).

a – геологический план и разрез выходов комплекса Хейлунцзян, *б* – структурные блок-диаграммы с указаниями направлений регионального сжатия в юрское и раннемеловое время.

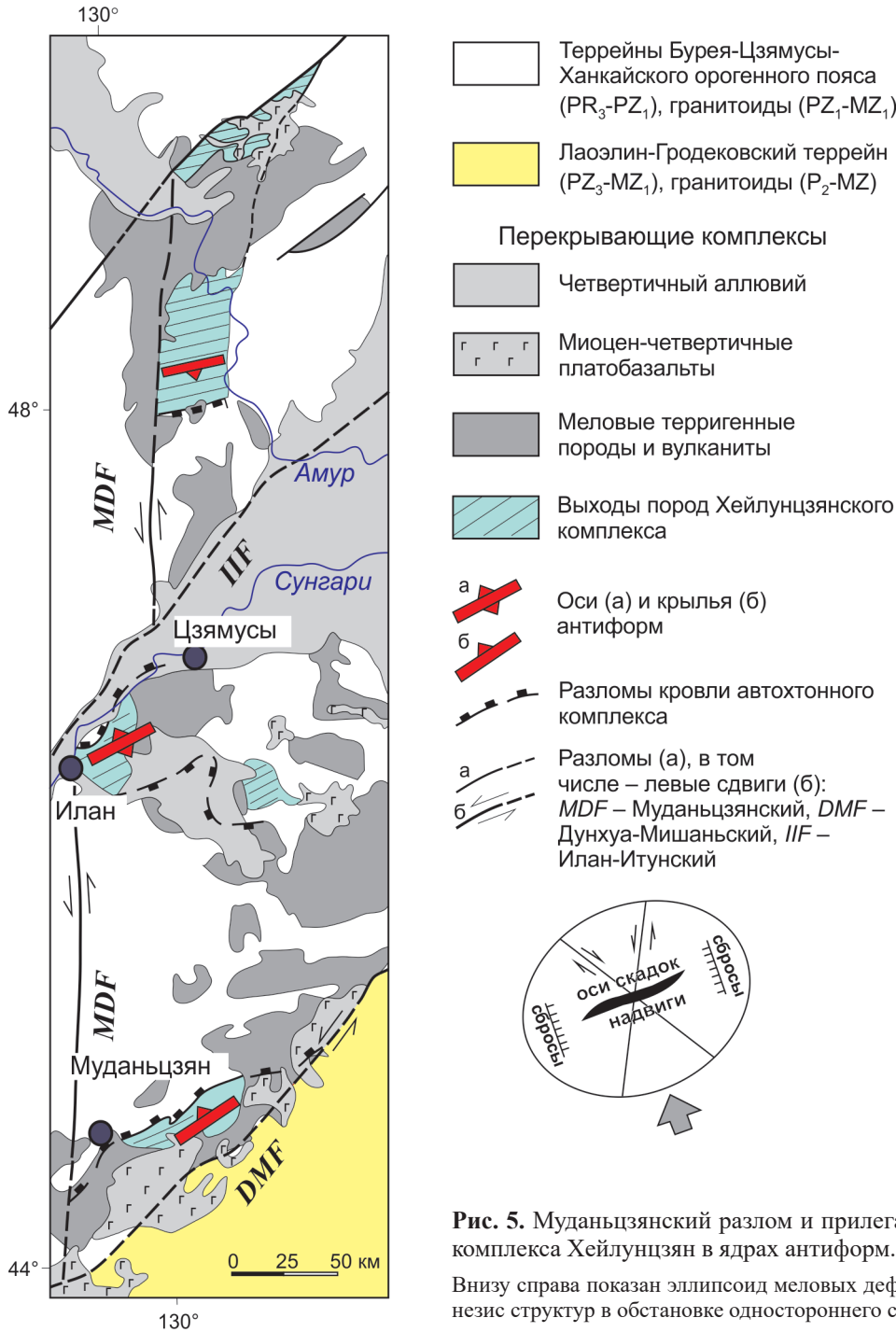


Рис. 5. Муданьцзянский разлом и прилегающие к нему с востока выходы комплекса Хейлунцзян в ядрах антиформ. Положение района см. на рис. 2. Внизу справа показан эллипсоид меловых деформаций, иллюстрирующий парагенезис структур в обстановке одностороннего сжатия.

между слэбом и континентальной плитой. Плоская субдукция зарождается, когда происходит погружение утолщенной, низкоплотностной и поэтому плавучей литосферы (асейсмических хребтов, подводных гор и др.) [14, 23, 24, 37, 48]. Как показано в [36], при плоской субдукции нижняя плита проходит несколько сотен километров почти на одной глубине, достигая давления-температуры, позволяющих плавить слэб. Магматические комплексы при плоской

субдукции формируются в небольшом объеме в глубине континента над областью, где происходит перегиб и разрыв слэба, и отличаются по геохимии от типично надсубдукционных [36, 46]. Наличие такой утолщенной океанической плиты, погружавшейся в юрское время под Евразийский континент, можно предполагать вполне определенно по наличию в Самаркинском и Наданьхада-Бикинском террейнах фрагментов крупного позднепалеозойского океанического плато

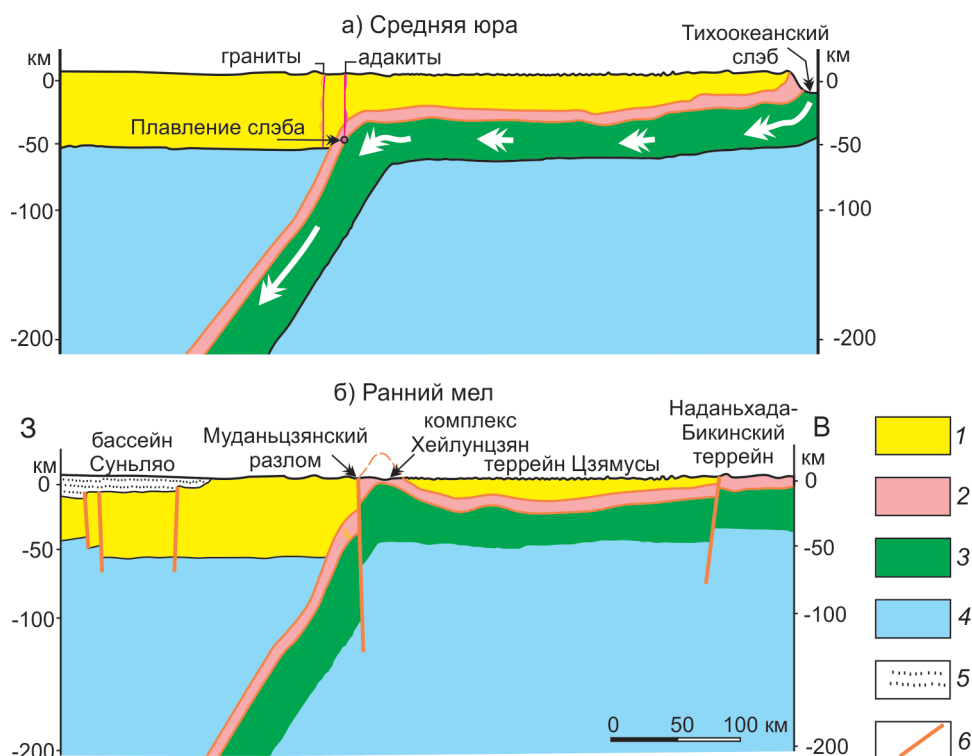


Рис. 6. Предлагаемая модель формирования комплекса Хейлунцзян в обстановке плоской субдукции и последующих дислокаций. Положение разрезов см. на рис. 2.

1 – континентальная литосфера; 2 – аккреционная призма; 3 – тихоокеанский слэб; 4 – мантия; 5 – меловые и кайнозойские отложения бассейна Суньяляо; 6 – разломы.

плюмовой природы (калиновский и себучарский комплексы), представленных разноглубинными габбро-гипербазитовыми ассоциациями, высокотитанистыми и высокожелезистыми базальтами, сопоставимыми с базальтами плато Онтонг-Джава и нерифогенными известняками, типичными для океанических плато [15, 16, 19]. Фрагменты этого плато (гипербазиты, габбро, базальты и позднепалеозойские известняки) присутствуют и в комплексе Юджиншан Наданьхада-Бикинского террейна, где рассматриваются как части океанического симаунта плюмовой природы [25, 38, 69]. В комплексе Раохе описаны фрагменты среднеюрского океанского острова [49, 57].

Получается, таким образом, что террейн Цзямусы с запада и с востока ограничен близкими по составу и возрасту фрагментами юрских аккреционных призм. С запада это фрагмент, образованный комплексом Хейлунцзян, о котором говорилось выше, а на востоке террейн граничит с аккреционными комплексами Сихоте-Алинь-Северо-Сахалинского пояса. Применительно к обсуждаемым аккреционным комплексам вполне реальной представляется возможность того, что комплекс Хейлунцзян представляет

собой выведенное на поверхность на участке антиформного перегиба подземное близгоризонтально залегающее продолжение аккреционного комплекса Наданьхада-Бикинского террейна (модель плоской субдукции, рис. 6).

Единство сопоставляемых аккреционных комплексов подчеркивается близким возрастом матрикса, одинаковыми возрастными группами детритовых цирконов и сходством состава и возраста аллохтонных включений (известняки, кремни, позднепалеозойские и раннемезозойские базальты). Комплекс Хейлунцзян обнажается, согласно этой трактовке, в тектоническом окне среди более древних образований террейна Цзямусы. Дополнительным подтверждением этому является то обстоятельство, что граниты и вулканы в западном и южном обрамлении выходов комплекса Хейлунцзян датированы триасом–началом юры (246–190 Ma) [49, 51, 52, 67], т.е. они более древние, нежели синсубдукционные метаморфиты этого комплекса. Эта модель также объясняет присутствие небольшого количества юрских адакитов [21] в ассоциации с гранитоидами в западном обрамлении Хейлунцзянского комплекса [75].

ВЫВОД

Таким образом, для объяснения формирования Хейлуунцзянского комплекса нет необходимости предполагать существование океана Муданьцзян. Особенности строения этого комплекса и условия его залегания могут быть объяснены процессами плоской субдукции тихоокеанского слэба в юре и его деформированием в раннемеловое время.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-05-00229).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
2. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2 500 000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
3. Голозубов В.В., Мельников Н.Г. Тектоника геосинклинальных комплексов Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 128 с.
4. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 231 с.
5. Голозубов В.В. Террейны Северо-Восточного Китая и прилегающих районов Российского Дальнего Востока // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ЛП Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2020. С. 182–185.
6. Диденко А.Н., Ото Ш., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Архипов М.В., Мияке Ю., Нагата М. Возраст цирконов из осадочных пород Хабаровского, Самаркинского и Жувравлевско-Амурского террейнов северной части Сихотэ-Алиньского орогенного пояса: тектонические следствия // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 1. С. 3–23.
7. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: ПГУ, 1972. 116 с.
8. Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.
9. Нечаев В.П., Мусашино М., Ли Д. У. Юрско-нижнемеловая геодинамическая эволюция восточной окраины Азии: реконструкция по изменению ассоциаций тяжелых минералов осадочных пород // Тихоокеан. геология. 1997. Т. 16, № 6. С. 21–35.
10. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У.Дж., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
11. Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Великославинский С.Д., Джан Б.-М., Сорокин А.А., Сорокин А.П., Ван К.-Л., Чан С.-Л., Ли Х.-Я., Толмачева Е.В. Мезозойский возраст урильской свиты амурской серии (Малохинганский террейн Центрально-Азиатского складчатого пояса): результаты U-Pb и Lu-Hf исследований детритовых цирконов // Докл. АН. 2013. Т. 453, № 4. С. 416–419.
12. Симаненко В.П., Филиппов А.Н., Чащин А.А. Базальты океана Панталасса в Самаркинском террейне (Центральный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 3. С. 23–37.
13. Уткин В.П. Тан-Лу-Сихотэ-Алинский трансрегиональный структурный парагенез и его роль в континентальном рифтогенезе // Докл. АН. 2012. Т. 444, № 4. С. 429–433.
14. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника основами геодинамики. М.: Изд-во. МГУ, 1995. 480 с.
15. Ханчук А.И., Панченко И.В., Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в палеозое и мезозое / Ред. А.И. Ханчук // Тихоокеанская окраина Азии. Геология. М.: Наука, 1989. С. 218–254.
16. Ханчук А.И., Панченко И.В. Гранатовое габбро в офиолитах Южного Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1991. Т. 321, № 4. С. 800–803.
17. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П., Малиновский А.И. Гигантские складки с крутопадающими шарнирами в структурах орогенных поясов (на примере Сихотэ-Алиня) // Докл. АН. 2004. Т. 394, № 6. С. 791–795.
18. Ханчук А.И., Вовна Г.М., Киселев В.И., Мишкин М.А., Лаврик С.Н. Первые результаты U-Pb геохронологических исследований пород гранулитового комплекса Ханкайского массива Приморья (метод LA-ICP-MS) // Докл. АН. 2010. Т. 434, № 2. С. 212–215.
19. Ханчук А.И., Высоцкий С.В. Разноглубинные габбро-гипербазитовые ассоциации в офиолитах Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 181–198.
20. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–29.
21. Aouizerat A., Xiao W., Schulmann K., Jeřábek P., Monié P., Zhou J.-B., Zhang J. Aol S., Li R., Li Y., Esmaeil R. Structures, strain analyses, and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of blueschist-bearing Heilongjiang Complex (NE China): Implications for the Mesozoic tectonic evolution of NE China // Geol. J. 2018. V. 54. P. 716–745.
22. Aouizerat A., Xiao W., Schulmann K., Windley B. F., Zhou J., Zhang J., Aoa S., Song D., Monie P., Liu K. Accretion, subduction erosion, and tectonic extrusion during late Paleozoic to Mesozoic orogenesis in NE China // J. Asian Earth Sci. 2020. T. 194, 104258.
23. Axen G. Jolante V. W., Currie C.C. Basal continental mantle lithosphere displaced by flat-slab subduction // Nature Geoscience. 2018. V. 11. P. 961–964.
24. Barazangi M., Isacks B. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America // Geol. 1976. T. 4. P. 686–692.
25. Bi J.H., Ge W.C., Yang H., Wang Z.H., Tian D.X., Liu X.W., Xu W.L., Xing D.H. Geochemistry of MORB and OIB in the Yuejinshan Complex, NE China: Implications for petrogenesis and tectonic setting // J Asian Earth Sci. 2017. V. 145. P. 475–473.
26. Dong Y., Ge W.C., Yang H., Ji Z., Zhao D., Xu W. Convergence history of the Jiamusi and Songnen-Zhangguangcai Range massifs: Insights from detrital zircon U-Pb geochronology of the Yilan Heilongjiang Complex, NE China // Gondwana Res. 2018. V. 56. P. 51–68.
27. Dong Y., Ge W.C., Yang H., Liu X., Ji Z., Xu W. Geochemical and SIMS U-Pb rutile and LA-ICP-MS U-Pb zircon

- geochronological evidence of the tectonic evolution of the Mudanjiang Ocean from amphibolites of the Heilongjiang Complex, NE China // *Gondwana Res.* 2019. V. 60. P. 25–44.
28. Feng G, Dilek Y, Niu X, Liu F., Yang J. Geochemistry and geochronology of OIB-type, Early Jurassic magmatism in the Zhangguangcai Range, NE China, as a result of continental back-arc extension // *Geol. Magazine.* November. 2018. P. 1–15.
 29. Gao P., Zheng Y.-F., Zhao Z.-F. Triassic granites in South China: A geochemical perspective on their characteristics, petrogenesis and tectonic significance // *Earth-Sci. Rev.* 2017. V. 173. P. 266–294.
 30. Ge M.H., Zhang J.-J., Li L., Liu K., Ling Y.-Y., Wang J.-M., Wang M. Geochronology and geochemistry of the Heilongjiang Complex and the granitoids from the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range: Implications for the late Paleozoic-Mesozoic tectonics of eastern NE China // *Tectonophysics.* 2017. V. 717. P. 565–584.
 31. Ge M.H, Zhang J.J., Li L., Liu K. A. Triassic-Jurassic westward scissor-like subduction history of the Mudanjiang Ocean and amalgamation of the Jiamusi Block in NE China: Constraints from whole-rock geochemistry and zircon U-Pb and Lu-Hf isotopes of the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range granitoids // *Lithos.* 2018. V. 302–303. P. 263–277.
 32. Ge M.H. Zhang J.J., Li L., Liu K. Ages and geochemistry of Early Jurassic granitoids in the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Ranges, NE China: Petrogenesis and tectonic implications // *Lithosphere.* 2019. V. 11, N 6. P. 804–820.
 33. Golozoubov V.V., Markevich V.S., Bugdaeva E.V. Early Cretaceous changes of vegetation and environment in East Asia // *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeocol.* 1999. V. 153. P. 139–146.
 34. Gu C., Zhu G., Li Y., Su N., Xiao S., Zhang S., Liu C. Timing of deformation and location of the eastern Liaoyuan Terrane, NE China: Constraints on the final closure time of the Paleo-Asian Ocean // *Gondwana Res.* 2018. V. 60. P. 194–212.
 35. Guo P., Xu W.L., Yu J.J., Wang F., Tang J., Li Y. Geochronology and geochemistry of Late Triassic bimodal igneous rocks at the eastern margin of the Songnen-Zhangguangcai Range Massif, Northeast China: petrogenesis and tectonic implications // *Intern. Geol. Rev.* 2016. V. 58, N 2. P. 196–215.
 36. Gutscher M.A., Maury R., Eissen J.P., Bourdon E. Can slab melting be caused by flat subduction? // *Geol.* 2000. V. 28. N 6. P. 535–538.
 37. Hasegawa A., Sacks. I.S. Subduction of the Nazca Plate beneath Peru as determined from seismic observations // *J. Geophys. Res.* 1981. V. 86. P. 4971–4980.
 38. Ishiwatari A., Ichiyama Y. Alaskan-type plutons and ultramafic lavas in Far East Russia, Northeast China, and Japan // *Intern. Geol. Rev.* 2004. V. 46. P. 316–331.
 39. Kemkin I.V., Khanchuk A.I., Kemkina R.A. Accretionary prisms of the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Composition, structure and significance for reconstruction of the geodynamic evolution of the eastern Asian margin // *J. Geodyn.* 2016. V. 102. P. 202–230.
 40. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // *J. Asian Earth Sci.* 2016. V. 120. P. 117–138.
 41. Kojima S. Mesozoic terrane accretion in Northeast China, Sikhote-Alin and Japan regions // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 1989. V. 69. P. 213–232.
 42. Li Y., Xu W.-L., Zhu R.-X., Wang F., Ge W.-C., Sorokin A.A. Late Jurassic to early Early Cretaceous tectonic nature on the NE Asian continental margin: Constraints from Mesozoic accretionary complexes // *Earth-Sci. Rev.* 2020. T. 200. 103042.
 43. Liu K., Zhang J.J., Wilde S.A., Liu S.R., Guo F., Kasatkin S.A., Golozoubov V.V., Ge M.H., Wang M., Wang J.M. U–Pb dating and Lu-Hf isotopes of detrital zircons from the southern Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian Far East: tectonic implications for the Early Cretaceous evolution of the Northwest Pacific margin // *Tectonics.* 2017. T. 36. P. 2555–2598.
 44. Liu Y., Li W., Feng Z., Wen Q., Neubauer F., Liang C.Y. A review of the Paleozoic tectonics in the eastern part of Central Asian orogenic belt // *Gondwana Res.* 2017. V. 43. P. 123–148.
 45. Mizutani S., Ji'an S., Qinlong Z. The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics of continental margins of East Asia // *Acta Geol. Sinica.* 1990. V. 3, N 1. P. 15–29.
 46. Mori L., Gómez-Tuena A., Cai Y., Goldstein S.L. Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt // *Chem. Geol.* 2007. V. 244, N 3–4. P. 452–473.
 47. Ovchinnikov R.O., Sorokin A.A., Kudryashov N.M., Kovach V.P., Plotkina Yu.V., Skovitina T.M. Age of the Early Paleozoic granitoid magmatism in the central part of the Bureya continental massif, Central Asian Fold Belt // *Geodynamics & Tectonophysics.* 2020. V. 11, N 1. P. 89–106.
 48. Ramos V.A., Folguera A., Andean flat-slab subduction through time / Murphy, J.B. (Ed.). *Ancient orogens and modern analogues* // *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 2009. V. 327. P. 31–54.
 49. Sorokin A.A., Kotov A.B., Kudryashov N.M., Kovach V.P. Early Mesozoic granitoid and rhyolite magmatism of the Bureya Terrane of the Central Asian Orogenic Belt: age and geodynamic setting // *Lithos.* 2016. T. 261. P. 181–194.
 50. Sorokin A.A., Ovchinnikov R.O., Xu W.L., Kovach V.P., Yang H., Kotov A.B., Ponomarchuk V.A., Travin A.V., Plotkina Yu.V. Ages and nature of the protolith of the Tulovchikha metamorphic complex in the Bureya Massif, Central Asian Orogenic Belt, Russia: evidence from U–Th–Pb, Lu–Hf, Sm–Nd, and ⁴⁰Ar/³⁹Ar data // *Lithos.* 2019. T. 332–333. P. 340–354.
 51. Sorokin A.A., Zaika V.A., Kovach V.P., Kotov A.B., Xu W., Yang H. Timing of closure of the eastern Mongol–Okhotsk Ocean: Constraints from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons from metasediments along the Dzhagdy Transect // *Gondwana Res.* 2020. T. 81. P. 58–78.
 52. Sun M.-D., Xu Y.-G., Chen H.-L. Subaqueous volcanism in the Paleo-Pacific Ocean based on Jurassic basaltic tuff and pillow basalt in the Raohe Complex, NE China // *Sci. China Earth Sci.* 2018. V. 61. P. 1042–1056.
 53. Tang J, Xu W, Wang F, Ge W. Subduction history of the Paleo-Pacific slab beneath Eurasian continent: Mesozoic-Paleogene magmatic records in Northeast Asia // *Sci. China Earth Sci.* 2018. T. 61, N 5. P. 527–559.
 54. Wang F., Xu W. L., Xu Y. G., Gao F., Ge W. Late Triassic bimodal igneous rocks in eastern Heilongjiang Province, NE China: Implications for the initiation of subduction of the Paleo-Pacific Plate beneath Eurasia // *J. Asian Earth Sci.* 2015. T. 97. P. 406–423.

55. Wang F., Xu Y.G., Xu W.L., Yang L., Wu W., Sun C. Y. Early Jurassic calc-alkaline magmatism in northeast China: Magmatic response to subduction of the Paleo-Pacific Plate beneath the Eurasian continent // *J. Asian Earth Sci.* 2017. T. 143. P. 249–268.
56. Wang J.Y., Yang Y.C., Huang Y.W., Hou Y.S., Tan Y., Zhang G.B. Formation ages and tectonic significance of ophiolites in Wandashan Terrane of the eastern Heilongjiang. // *J. Earth Sci. Environ.* 2016. V. 38, N 2. P. 182–195.
57. Wang Z.H., Ge W.C., Yang H., Zhang Y.L., Bi J. H., Tian D.X., Xu W.L. Middle Jurassic oceanic island igneous rocks of the Raohe accretionary complex, northeastern China: Petrogenesis and tectonic implications // *J Asian Earth Sci.* 2015. V. 111. P. 120–137.
58. Wang Z-W., Xu W-L., Pei F-P., Wang F., Guoa P. Geochronology and geochemistry of Early Paleozoic igneous rocks of the Lesser Xing'an Range, NE China: Implications for the tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt // *Lithos.* 2016. T. 261. P. 144–163.
59. Wilde S.A., Dorsett-Bain H.L., Liu J. The identification of a Late Pan-African granulite facies event in northeastern China: SHRIMP U–Pb zircon dating of the Mashan Group at Liu Mao, Heilongjiang Province, China // *Proceedings of the 30th International Geological Congress.* Beijing. V. 17. Amsterdam: VSP Intern. Sci. Publ. 1997. P. 59–74.
60. Wilde S.A. Final amalgamation of the Central Asian Orogenic Belt in NE China: Paleo-Asian Ocean closure versus Paleo-Pacific plate subduction – A review of the evidence // *Tectonophysics.* 2015. V. 662. P. 345–362.
61. Wu F.Y., Sun D.Y., Li H.M., Jahn B.M., Wilde S.A. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis // *Chem. Geol.* 2002. V. 187. P. 143–173.
62. Wu F.Y., Yang J.H., Lo C.H., Wilde S.A., Sun D.Y., Jahn B.M. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China // *Island Arc.* 2007. V. 16. P. 156–172.
63. Xing K.C., Wang F., Xu W.-L., Gao F.H. Tectonic affinity of the Khanka Massif in the easternmost Central Asian orogenic Belt: evidence from detrital zircon geochronology of Permian sedimentary rocks // *Intern. Geol. Rev.* 2020. V. 62 (4). P. 428–445.
64. Xu W.L., Pei F.P., Wang F., Meng E., Ji W.Q., Yang D.B., Wang W. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes // *J. Asian Earth Sci.* 2013. V. 74. P. 167–193.
65. Xu J., Tong W., Zhu G., Lin S., Ma C. An outline of the pre-Jurassic tectonic framework in East Asia // *J. Southeast Asia Earth Sci.* 1989. V. 3, N 1–4. P. 29–45.
66. Xu J. Basic characteristics and tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang Fault Zone // Xu J. (ed.) *Tancheng-Lujiang Wrench Fault System.* John Wiley. Sons. 1993. P. 17–51.
67. Yang, J. Z., Qiu H. J., Sun J. P., and Zhang X. Z. Juejinshan Complex and its tectonic significance // *J. Changchun Univ. Sci. Tec.* 1998. V. 28 (4). P. 380–385.
68. Yang H., Ge W-C., Bi J-H., Wang Z-H., Tian D-X., Dong Y. The Neoproterozoic-Early Paleozoic evolution of the Jiamusi Block, NE China and its East Gondwana connection: geochemical and zircon U–Pb–Hf isotopic constraints from the Mashan Complex // *Gondwana Res.* 2018. V. 54. P. 102–121.
69. Zhang Q., Zhou G.Q. Ophiolites in China. // *Beijing Sci. Press.* 2001. 182 p. (in Chinese with English abstr.).
70. Zhang D., Liu Y-J., Li W-M., Li S-Z., Iqbal M.Z., Chen Z-X. Marginal accretion processes of Jiamusi Block in NE China: Evidences from detrital zircon U-Pb age and deformation of the Wandashan Terrane // *Gondwana Res.* 2020. V. 78. P. 92–109.
71. Zhao D., Ge W., Yang H., Dong Yu, Bi J., He Y. Petrology, geochemistry, and zircon U–Pb–Hf isotopes of Late Triassic enclaves and host granitoids at the southeastern margin of the Songnen–Zhangguangcai Range Massif, Northeast China: Evidence for magma mixing during subduction of the Mudanjiang oceanic plate // *Lithos.* 2018. V. 312–313. P. 358–374.
72. Zhou J. B., Wilde S. A., Zhang X.Z., Zhao G.C., Zheng C.Q., Wang Y.J., Zhang X.H. The onset of Pacific margin accretion in NE China: evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt // *Tectonophysics.* 2009. V. 478. P. 230–246.
73. Zhou J.B., Cao J.L., Wilde S.A., Zhao G.C., Zhang J.J., Wang B. Paleo-Pacific subduction-accretion: Evidence from geochemical and U-Pb zircon dating of the Nadanhada accretionary complex, NE China // *Tectonics.* 2014. V. 33. P. 2444–2466.
74. Zhu C.Y., Zhao G., Sun M., Liu Q., Han Y., Hou W., Zhang X., Eizenhofer P.R. Geochronology and geochemistry of the Yilan blueschists in the Heilongjiang Complex, northeastern China and tectonic implications // *Lithos.* 2015. V. 216. P. 241–253.
75. Zhu C.Y., Zhao G., Sun M., Eizenhöfer, P.R., Han Y., Liu Q., Liu D.X., Subduction between the Jiamusi and Songliao blocks: geochronological and geochemical constraints from granitoids within the Zhangguangcailing orogen, northeastern China // *Lithosphere.* 2017. V. 9, N 4. P. 515–533.
76. Zhu C.Y., Zhao G., Sun M., Eizenhöfer P.R., Liu Q., Zhang X., Han Y., Hou W. Geochronology and geochemistry of the Yilan greenschists and amphibolites in the Heilongjiang Complex, northeastern China and tectonic implications // *Gondwana Res.* 2017. V. 43. P. 213–228.
77. Zhu C.Y., Zhao G., Sun M., Han Y., Liu Q., Eizenhofer P.R., Zhang X., Hou W. Detrital zircon U-Pb isotopic data for meta-sedimentary rocks from the Heilongjiang Complex, northeastern China and tectonic implications // *Lithos.* 2017. V. 282–283. P. 23–32.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

после доработки 10.02.2021 г.

принята к печати 19.03.2021 г.

V.V. Golozubov, A.I. Khanchuk

Heilongjiang Complex – fragment of the Jurassic accretionary wedge in the tectonic windows of the overlying plate: flat-slab subduction model

The Circum-Pacific Late Albian-Cenomanian orogenic belts (including the Sikhote-Alin-Western-Sakhalin belt) were formed as a result of the deformation of mainly epi-oceanic terranes – fragments of Jurassic-Early Cretaceous accretionary wedges with ophiolites and other fragments of oceanic crust, turbidite basins, and island-arc systems. To the west of the Sikhote-Alin - Northern-Sakhalin belt and orthogonally, there are structures of earlier consolidation, which include the Bureya-Jiamusi-Khanka fragment of the orogenic belt of the Late Cambrian-Early Ordovician consolidation of the Late Proterozoic - Cambrian complexes. Within this belt, four isolated outcrops of the Heilongjiang complex are mapped, combining metamorphites of the epidote-amphibolite and glaucophane-schist facies and representing a fragment of an accretionary wedge of the Jurassic age. It was assumed that these outcrops marked the suture, i.e., represented the remains of the closed Mudanjiang paleo-ocean, separating the original Jiamusi terrane (and the Bureya-Jiamusi-Khanka belt) located to the west of Central Asia structures. The proposed article provides data that the Heilongjiang complex does not mark a suture, but is an underground near-horizontal continuation of the marginal continental accretionary wedge of the Nadanhad - Bikin terrane (flat subduction model) brought to the surface at the site of the antiform bending. The unity of the compared parts of the accretionary wedge is emphasized by the close matrix age, the similarity of detritus zircon populations, and the similarity of the composition and age of allochthonous inclusions (limestone, chert, Late Paleozoic and Early Mesozoic basalt). An important common feature is that Late Paleozoic and Early Mesozoic basalts from allochthonous inclusions in both cases are represented by the N-MORB and OIB types, with no traces of suprasubduction volcanism in the matrix. The Heilongjiang complex forms, according to this interpretation, a tectonic window among the more ancient formations of the Jiamusi terrane. There is no need to assume the existence of the Mudanjiang Ocean to explain the formation of the Heilongjiang complex. The features of the structure of this complex and the conditions of its occurrence can be explained by the processes of flat subduction of the Pacific slab in the Jurassic and its deformation in the Early Cretaceous.

Key words: Heilongjiang complex, Jurassic accretionary wedge, high-pressure metamorphism, isotope geochronology, flat subduction, Northeast China.