



## NEW DATA ON THE STRUCTURE OF THE OFFSHORE MARGIN OF THE NORTHERN SAKHALIN

V. L. Lomtev<sup>1</sup>, A. V. Litvinova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki street, 1B, Russia*

<sup>2</sup>*OJSC Dalmorneftegeofizika, 693004, Yuzhno-Sakhalinsk, Prospekt Mira, 426, Russia*

**Abstract:** This publication presents new data obtained with CDP, gravimetry and magnetometry methods, showing the structure of the offshore margin of the Northern Sakhalin further from the Okhinsky bridge and the Schmidt peninsula, and results of geological interpretation of these data. The study covers: 1) The Trekhbratskaya anticline zone and the mega-dyke with the same name; 2) The East-Sakhalin trough filled in with the Late Cenozoic, mainly the Pomyrskie and Deryuginskie sediments, debris from the Amur river and products of abrasion which occurs at offshore folded structures / bench; 3) The near-bottom gas hydrates and indicators of gas saturation of the Pomyrskie and Deryuginskie sediments. New problems were identified concerning tectonic, magmatic and sedimentation history of the offshore margin and the adjacent structures of the Sakhalin cordillera and the bathyal Deryugin basin.

**Key words:** offshore margin of the Northern Sakhalin, bathyal Deryugin basin, acoustic foundation, Cenozoic sedimentary cover, mega-dyke, gas hydrates, gas.

**Recommended by** K.G. Levi 22 February 2011

**Citation:** Lomtev V.L., Litvinova A.V. New data on the structure of the offshore margin of the Northern Sakhalin // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2011. V. 2. № 1. P. 83–94.

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОДВОДНОЙ ОКРАИНЫ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА

В. Л. Ломтев<sup>1</sup>, А. В. Литвинова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия*

<sup>2</sup>*ОАО «Дальморнефтегеофизика», 693004, Южно-Сахалинск, проспект Мира, 426, Россия*

**Аннотация:** В статье рассматриваются новые данные сейсморазведки, грави- и магнитометрии о строении подводной окраины Северного Сахалина мористее Охинского перешейка и п-ова Шмидта и приведены результаты их геологической интерпретации. Среди них: 1) Трехбратская антиклинальная зона и одноименная мегадайка; 2) Восточно-Сахалинский прогиб, выполненный позднекайнозойскими, в основном помырскими и дерюгинскими, выносами Амура и продуктами абразии шельфовых складчатых структур (бенч); 3) придонные газогидраты и признаки газонасыщенности помырских и дерюгинских осадков. Выявлен ряд новых проблем, касающихся тектонической, магматической и осадочной истории подводной окраины и смежных структур Сахалинской кордильеры и батимальной впадины Дерюгина.

**Ключевые слова:** подводная окраина Северного Сахалина, батимальная впадина Дерюгина, акустический фундамент, кайнозойский осадочный чехол, мегадайка, газогидраты, газ.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В статье по данным высокочастотного (110 Гц) 80-, 90- и 100-канального МОГТ (метод общей глубинной точки), грави- и магнитометрии ОАО «Дальморнефтегеофизика» (далее ДМНГ) 2000 и 2004 гг. (рис. 1–7) и результатам их новой геологической интерпретации рассматриваются проблемы строения и истории формирования подводной окраины Северного Сахалина, которую образуют шельф переменной ширины с глубиной внешнего края около 150 м и относительно крутой и узкий подводный (континентальный) склон высотой около 1 км (рис. 1) [Литвинова, 2010а, 2010б; Литвинова, Ломтев, 2010]. Склон опирается на всхолмленное ложе замкнутой батимальной впадины (котловины) Дерюгина с глубинами до 1780 м и не имеет сколько-нибудь развитого аккумулятивного подножья [Гнибиденко, 1979; Журавлев, 1984].

Геологическое строение Северного Сахалина изучается около 100 лет и в основном ориентировано на проблемы нефтегазовой геологии Северо-Сахалинского кайнозойского осадочного и нефтегазоносного бассейна [Геологическое строение..., 1959; Харахинов, 2010]. В последние примерно 50 лет исследуется строение его подводной части и особенно шельфа Северо-Восточного Сахалина. Здесь открыты многопластовые месторождения углеводородов (УВ) и недавно начата их промышленная разработка в рамках проектов Сахалин–1, 2. Результаты интерпретации полученных данных публиковались в многочисленных, особенно фондовых, работах [Тектоника..., 1963, 2004; Гнибиденко, 1979; Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования..., 1988; Лопатнев и др., 1989; Кайнозой..., 2002; Харахинов, 2010]. В данной работе показано, что с учетом материалов последних площадных съемок МОГТ, включающих один профиль с выходом на хабаровскую погребенную континентальную окраину (рис. 1–7), а также с открытием залежей УВ на Дагинской, Пела-Лейч, Удачной и Васюканской структурах [Литвинова, 2010а; Харахинов, 2010]) некоторые устоявшиеся представления о геологии, геофизике и истории развития подводной окраины Северного Сахалина оказались не столь однозначными и требуют дополнительного изучения. В связи с этим авторы рассматривают настоящую работу как постановочную.

## 2. ТРЕХБРАТСКАЯ МЕГААНТИКЛИНАЛЬ И МЕГАДАЙКА

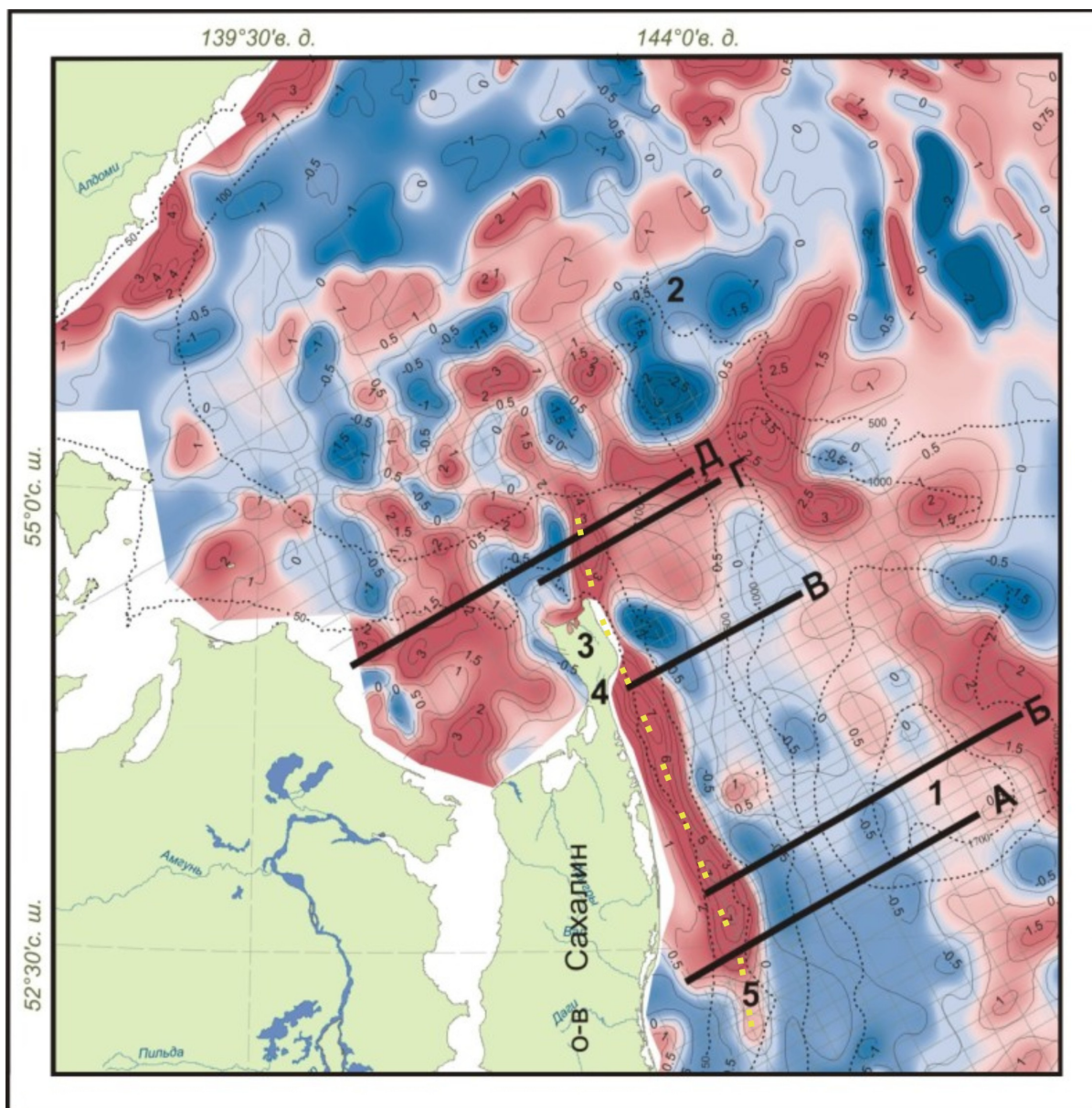
Восточно-Сахалинская магнитная аномалия [Родников и др., 2002], или одноименная зона магнитных аномалий [Журавлев, 1984], впервые выделена у края шельфа Северо-Восточного Сахалина по материалам аэромагнитной съемки. Позднее она изучалась морской сейсмо-, грави- и магниторазведкой в основном ДМНГ и рассматривалась как зона Восточно-Сахалин-

ского глубинного разлома восточного падения, насыщенная телами ультрабазитов [Маргулис и др., 1979] и маркируемая положительными линейными аномалиями магнитного и гравитационного полей (см. рис. 1, 2). Эта зона также включала в себя Восточный хребет п-ова Шмидта с крупными раннемезозойскими интрузиями гипер- или ультрабазитов, в основном серпентинитов (протрузии [Харахинов, 2010]). Интрузии слагают гипербазитовый пояс, или офиолитовую зону [Тектоника..., 2004; Родников и др., 2002; Государственная геологическая карта..., 2009], имеющую подводное продолжение к северу до окрестностей каньона Ионы близ 56° с.ш. [Геология..., 2002]. Таким образом (субмеридиональная?) протяженность рассматриваемой структуры достигает 360 км, что позволяет считать ее мегаантиклиналью (см. рис. 1).

Как Трехбратская или Восточно-Одоптинская антиклиналь описывалась последние десятилетия в основном в фондовой литературе по геологии нефтегазоносного шельфа Северо-Восточного Сахалина к югу от горного массива Три Брата (п-ов Шмидта [Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования..., 1988; Лопатнев и др., 1989]). Заметим, что в работе [Тектоника..., 2004] ее называют Шмидтовским поднятием, что можно принять, поскольку на п-ове Шмидта два разновозрастных хребта – Восточный и Западный.

На профилях МОГТ ДМНГ Трехбратская мегаантиклиналь представляет собой выступ позднемиоценовых пород акустического фундамента высотой 10–12 км, если судить по размаху глубин залегания акустического фундамента во впадине Дерюгина и Чайвинской синклинали [Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования..., 1988; Тектоника..., 2004]. Она ограничивала Северо-Сахалинский кайнозойский осадочный бассейн с востока, поэтому традиционно рассматривалась как его краевое поднятие [Лопатнев и др., 1989]. Мористее выделялся Восточно-Сахалинский прогиб и его не компенсированная осадками часть – замкнутая батимальная впадина Дерюгина, или так называемый Дерюгинский осадочный бассейн [Харахинов, 2010]. Еще недавно полагали, что все месторождения УВ Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна располагаются к западу от Трехбратской мегаантиклинали. Однако недавно бурением на Дагинской складке и в трех структурах восточного шельфа п-ова Шмидта [Литвинова, 2010а; Харахинов, 2010] открыты залежи УВ в позднекайнозойских отложениях, залегающих на своде складки и ее восточном крыле, т.е. в пределах Восточно-Сахалинского прогиба.

Вместе с тем ряд аспектов строения рассматриваемой структуры пока не привлек внимание исследователей, например вертикальные сквозные постседиментационные антиклинали в кайнозойском чехле и акустическом фундаменте или признаки магматического замещения осадков (рис. 3–7). На шельфе Северо-Восточного Сахалина их 1–2, например в районе



**Рис. 1.** Схема магнитного поля и батиметрии подводной окраины Северного Сахалина и прилегающей части Охотского моря (по данным В.А. Зайцева, ДМНГ) с положением профилей высокочастотного МОГТ съемок 2000 и 2004 годов, выделены А–Д. Цифрами обозначены: 1 – впадина Дерюгина, 2 – каньон и окрестности о-ва Ионы, 3 – п-ов Шмидта, 4 – Охинский перешеек, 5 – Трехбратская мегаантиклиналь и мегадайка. Изодинамы в нанотеслах ( $n \cdot 10^2$  нТл), изобаты – в метрах. Желтыми точками обозначена ось мегадайки и Восточно-Сахалинской магнитной аномалии.

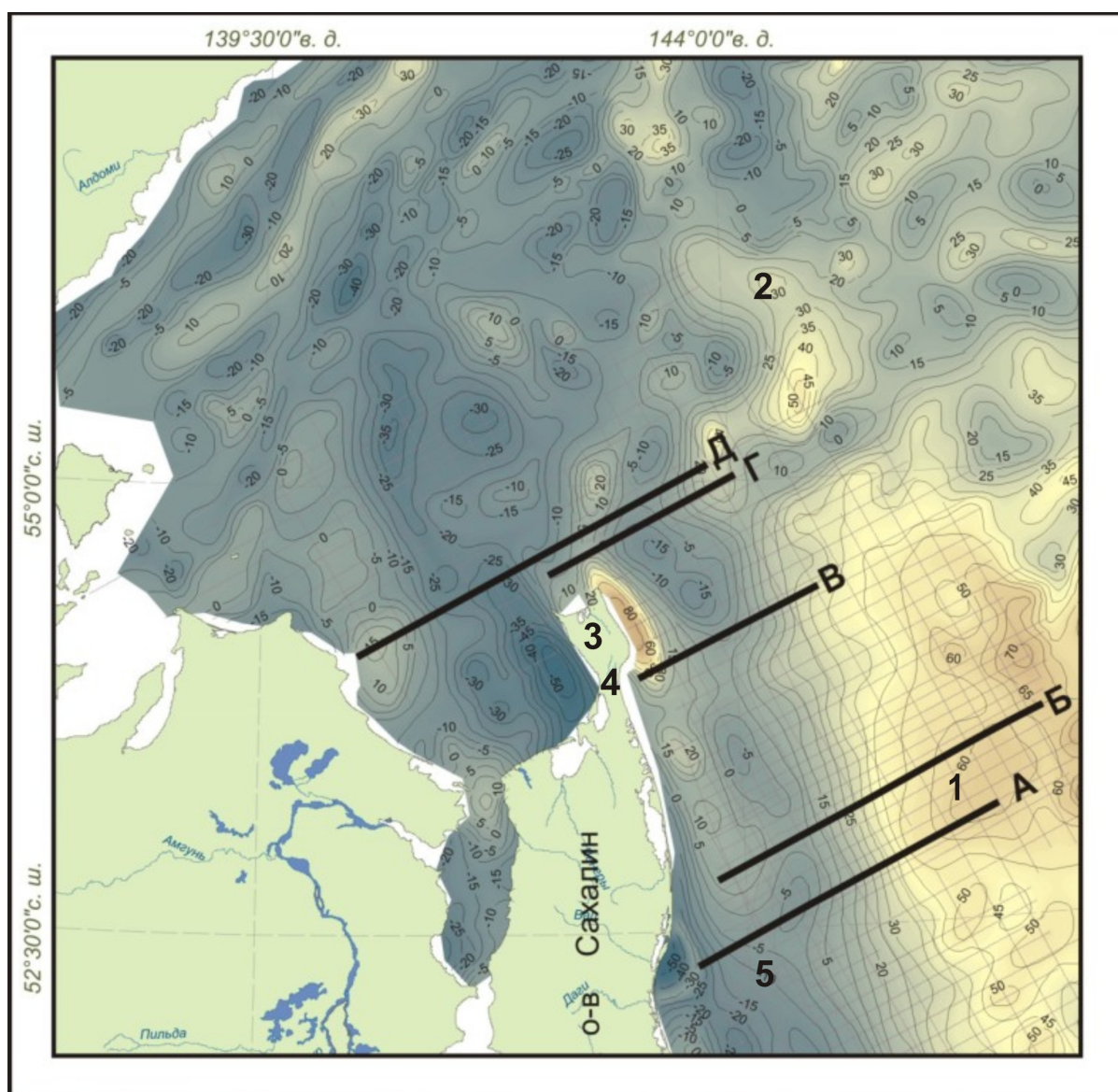
**Fig. 1.** The magnetic field and deep-sea sounding scheme of the offshore margin of the Northern Sakhalin and the adjacent part of the Okhotsk Sea (according to V.A. Zaitsev, DMNG). Positions of high-frequency CDP profiles in 2000 and 2004 are shown (А–Д). Legend: 1 – Deryugin basin; 2 – Canyon and vicinities of the Iona island; 3 – Schmidt peninsula; 4 – Okhinsky bridge; 5 – Trekhbratskaya mega-anticline and mega-dyke. Isodynamic curve in nanoteslas ( $n \cdot 10^2$  nTl); isobatic curves in meters. Yellow dots show the axis of the mega-dyke of the East Sakhalin magnetic anomaly.

Дагинской и Баутинской складок (см. рис. 3). Но на северном окончании Трехбратской мегаантиклинали их уже до 4–5 (разломно-складчатый веер на рис. 7), что характерно для окончания глубинного разлома или, возможно, связано с его пересечением крупным субширотным разломом, также выраженным в геофизических полях (см. рис. 1, 2). На уровне островного шельфа своды антиклиналей абрадируются в позднем

плейстоцене (бенч), а продукты абразии позднекайнозойских отложений переотложены главным образом на континентальном склоне и прилегающем ложе впадины Дерюгина.

Рассматриваемые складки в основном симметричны и связаны с молодой, вероятно ранне-среднечетвертичной, интрузией ультрабазитов по зоне фронтального глубинного разлома Сахалинской кордильеры [Ломтев





**Рис. 2.** Схема гравитационного поля подводной окраины Северного Сахалина и прилегающей части Охотского моря в редукции Буге (оцифровка изоаномал условная) по данным В.А. Зайцева (ДМНГ) с положением профилей МОГТ 2000 и 2004 годов, выделены А–Д.

**Fig. 2.** The gravity field scheme of the offshore margin of the Northern Sakhalin and the adjacent part of the Okhotsk Sea (Buge reduction), according to data provided by V.A. Zaitsev, DMNG. Positions of CDP profiles in 2000 and 2004 are shown (А–Д).

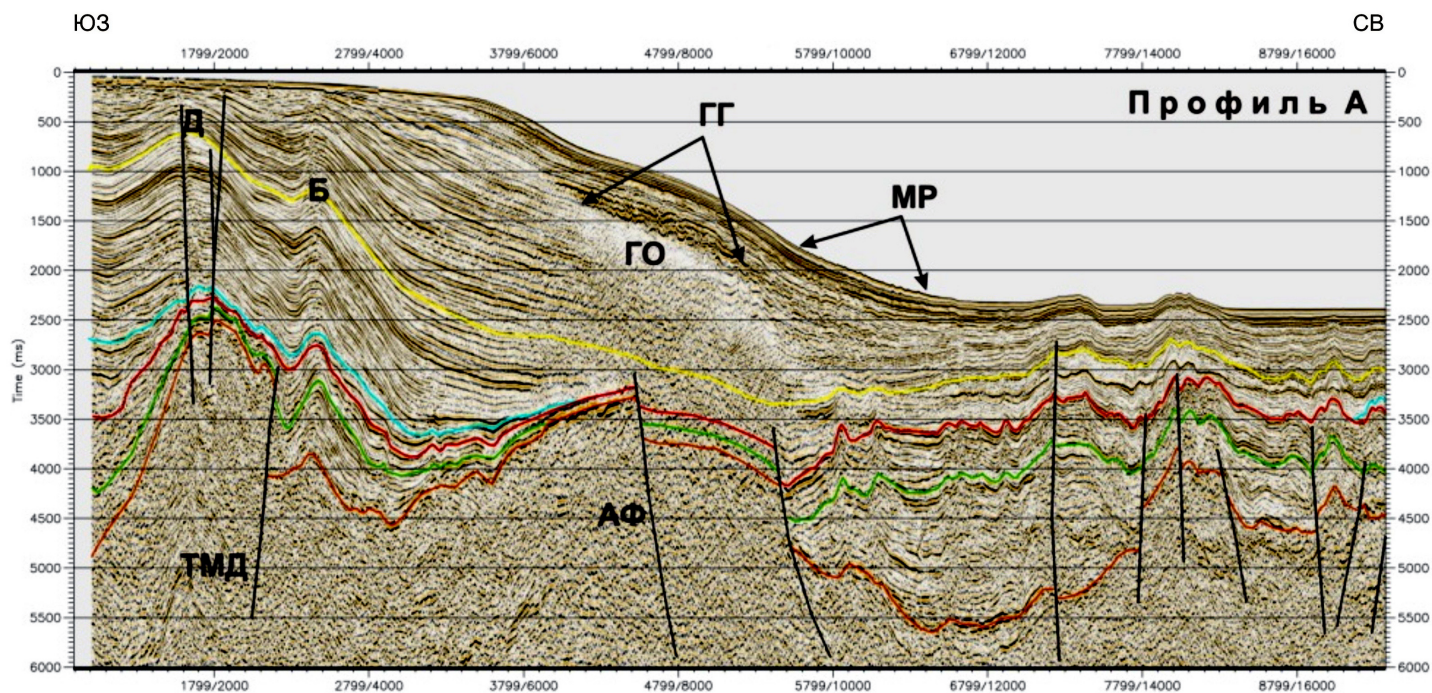
и др., 2002]. Таким образом, приходим к выводу об интрузивной (мегадайка) природе Трехбратской мегаантиклинали [Ломтев и др., 2002; Ломтев, Патрикеев, 2006]. Наклон фронтального глубинного разлома к западу (надвиг или взбросо-надвиг), по мнению к.г.-м.н. В.А. Паровышнего (ИМГиГ ДВО РАН, личное сообщение, 2010), надежно определяет сдвиг в плане оси линейной положительной гравияномалии на 1–2 км к западу относительно оси положительной магнитной аномалии, картированных у побережья Восточного хребта [Государственная геологическая карта..., 2009], что обусловлено большей глубиной гравиразведки в сравнении с магниторазведкой (верхняя кора?).

Мелкие антиклинальные складки в кайнозойском

чехле в своде и на крыльях Трехбратской мегаантиклинали являются апофизами одноименной мегадайки, тело которой фиксируют вертикальные зоны реверберации сейсмического сигнала. Ее состав (серпентиниты?) пока не определен (слепая интрузия), неясен и вклад в формирование линейных, гравитационной и магнитной, аномалий (в сравнении с раннемезозойскими интрузиями ультрабазитов) и термогенерацию УВ.

Выделим также широтную асимметрию мегаантиклинали на ряде профилей МОГТ (рис. 3, 5, 7), включая Восточный хребет п-ва Шмидта [Ратновский, 1960], а также ее блоковое, клиновидное строение (пакет тектонических чешуй?). Как показано на рис. 8, она сфор-





**Рис. 3.** Профиль МОГТ А. Положение на рис. 1, 2. Вертикальный масштаб в секундах двойного пробега, горизонтальный – в гидроточках SP/CDP с расстоянием между ними 25 и 12.5 м соответственно. Стратиграфия кайнозойского осадочного чехла на рис. 5 и рис. 4, 6, 7 [Литвинова, 2010а, 2010б]: 1 (желтая) – кровля нутовского сейсмокомплекса позднего миоцена – раннего плиоцена; 2 (синяя) – кровля окобыкайского сейсмокомплекса среднего–верхнего миоцена; 3 (красная) – кровля дагинско-уйнинского сейсмокомплекса нижнего–среднего миоцена; 4 (зеленая) – кровля даехуриинско-люкаминского сейсмокомплекса палеогена; 5 (темно-красная) – кровля акустического фундамента (АФ здесь и на рис. 3–7), сложенного породами позднего мела. ТМД – Трехбрятская мегадайка; Д, Б – Дагинская и Баутинская антиклинали, ГГ – газогидраты, ГО – газовое окно, МР – мегарябь. Разломы выделены черными линиями здесь и на рис. 4–7.

**Fig. 3.** CDP profile A. Position in Figures 1 and 2. Vertical scale in second of dual run; horizontal – in hydro-points SP/CDP located at distances of 25 and 12.5 m, respectively. Stratigraphy of the Cenozoic sedimentation cover in Figures 5 and 4, 6 and 7 [Литвинова, 2010а, 2010б]: 1 (yellow) – Cover of the Nutsky seismic complex of the Late Miocene – Early Pliocene; 2 (blue) – Cover of the Okobykaisky seismic complex of the Middle–Upper Miocene; 3 (red) – Cover of the Daginsko-Uininsky seismic complex of the Low–Middle Miocene; 4 (green) – Cover of the Daekhurrisko-Lukaminsky seismic complex of the Paleogene; 5 (dark red) – Cover of the acoustic foundation (АФ here and in Figures 3–7) which is composed of the Late Cretaceous rocks. ТМД – Trekhratskaya mega-dyke; Д, Б – Daginskaya and Bautinskaya anticlines; ГГ – gas hydrates; ГО – gas window; МР – mega-ripple. Faults are shown as black lines here and in Figures 4–7.

мирована глубинным надвигом Сахалинской кордильеры к востоку в сахалинскую фазу тектогенеза, которую обычно датируют концом плиоцена – плейстоценом [Ратновский, 1960; Тектоника..., 1963]. Надвиг, видимо, предвварял внедрение Трехбрятской мегадайки. Судя по рис. 3, 4, он не вышел в основание флексурного подводного склона Северного Сахалина (слепой разлом [Ломтев и др., 2007]) и, следовательно, имел небольшую горизонтальную амплитуду (первые километры). Вместе с тем, по данным МОГТ и других геофизических методов, только Восточно-Сахалинский (Трехбрятский) [Ломтев и др., 2007] разлом контролирует спрямленность континентального склона Северного и Среднего (Восточно-Сахалинские горы) Сахалина и его подошвы в плане от каньона Ионы на севере до хребта Терпения на юге (см. рис. 1), а также широтную асимметрию впадины Дерюгина с крутым западным (сахалинским) бортом и пологим восточным [Журавлев, 1984]. Из этого следует, что в истории

Восточно-Сахалинского глубинного и относительно стационарного мезокайнозойского разлома намечаются две, возможно непродолжительные, тектономагматические фазы, датируемые ранним мезозоем и поздним кайнозоем.

### 3. ВОСТОЧНО-САХАЛИНСКИЙ ПРОГИБ

Эта структура традиционно выделяется между Трехбрятской мегаантиклиналью и ложем впадины Дерюгина [Маргулис и др., 1979]. Максимальную ширину прогиба имеет мористее п-ова Шмидта, Восточный хребет которого является самой приподнятой и широкой частью мегаантиклинали (см. рис. 1, 2). Таким образом, акватория Восточно-Сахалинского прогиба включает в себя восточный и северо-восточный шельфы п-ова Шмидта, внешний шельф Северо-Восточного Сахалина и прилегающий к ним континентальный



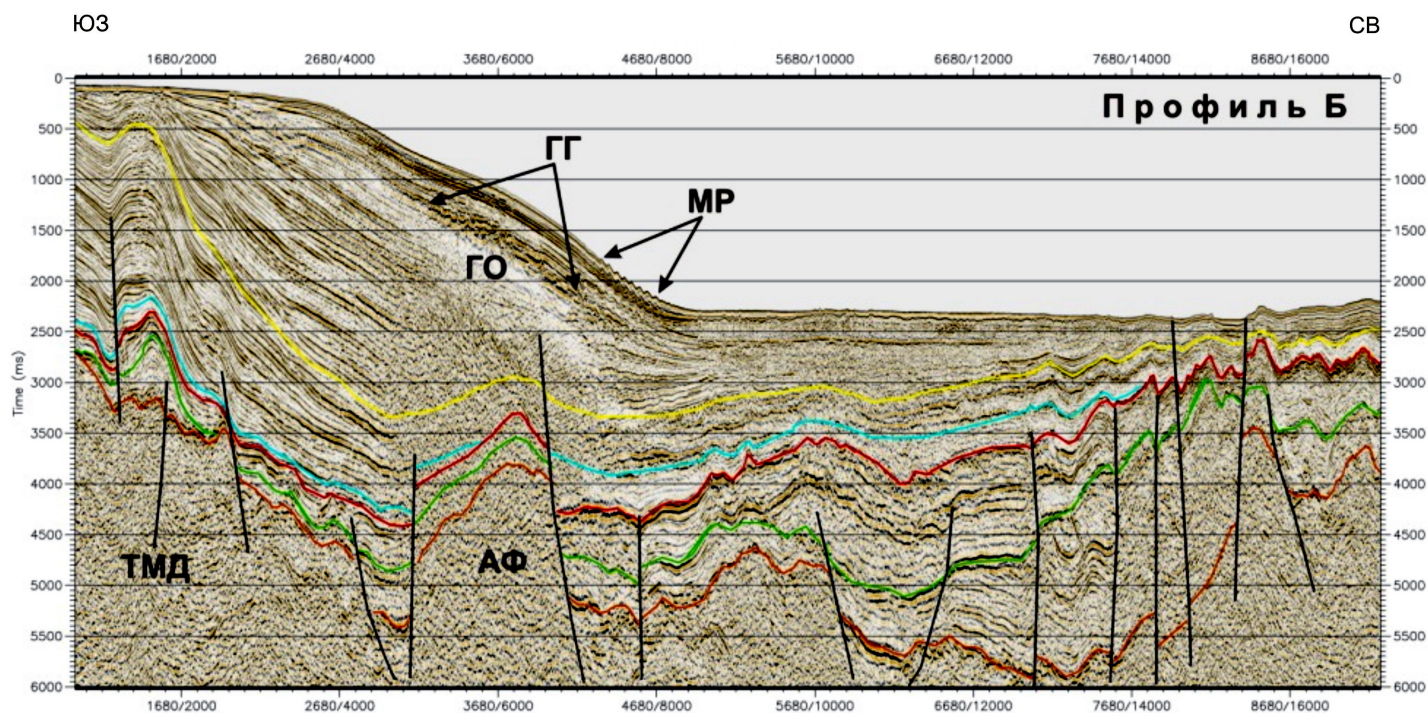


Рис. 4. Профиль МОГТ Б. Положение на рис. 1, 2, остальные обозначения на рис. 3.

Fig. 4. CDP profile B. Its position is shown in Figures 1 and 2; the legend is given in Figure 3.

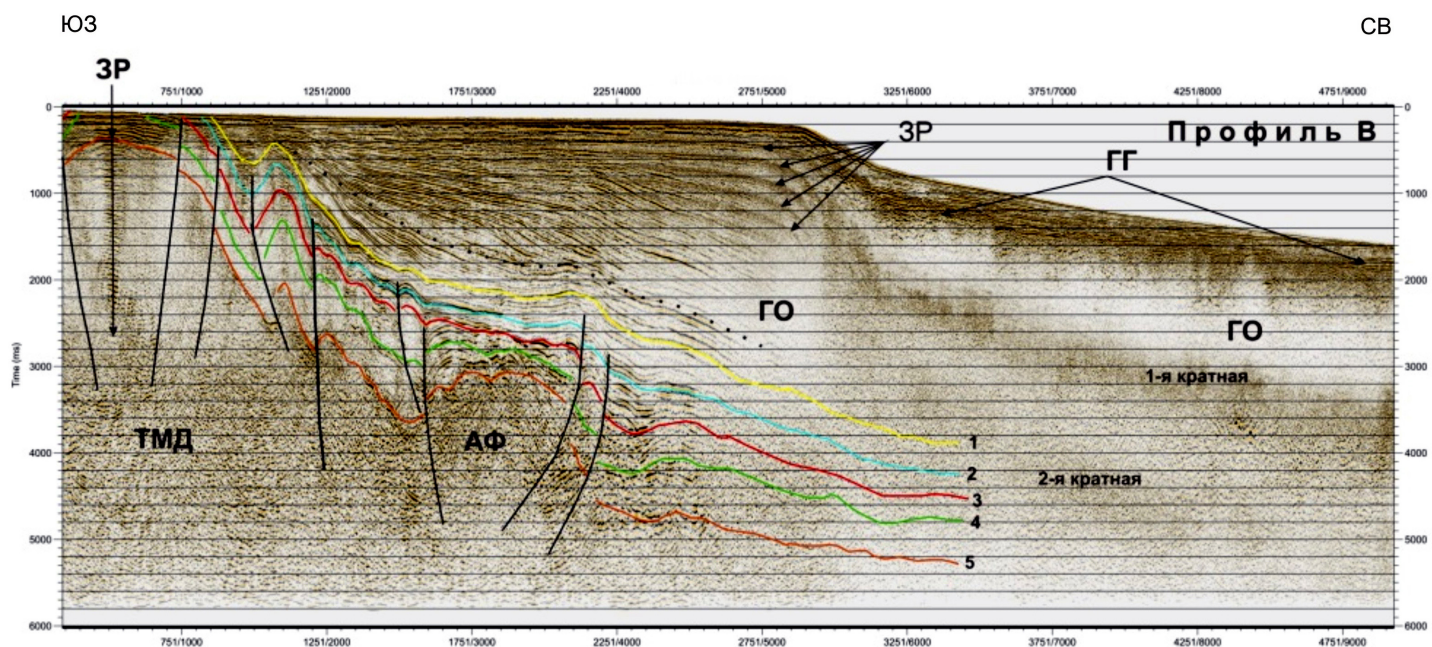
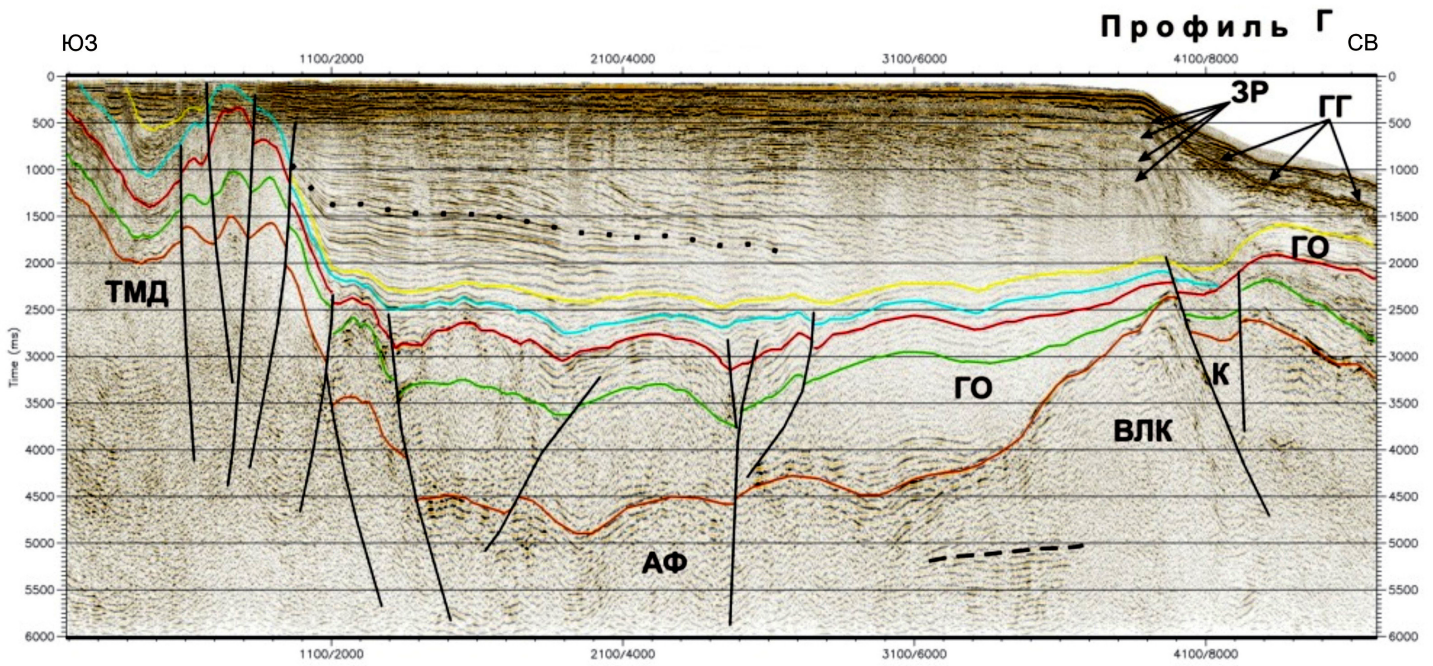


Рис. 5. Профиль В. Положение на рис. 1, 2, остальные обозначения на рис. 3. ЗР – зона реверберации. Линия черных квадратов маркирует локальное несогласие между помырскими и дерюгинскими осадками здесь и на рис. 6, 7.

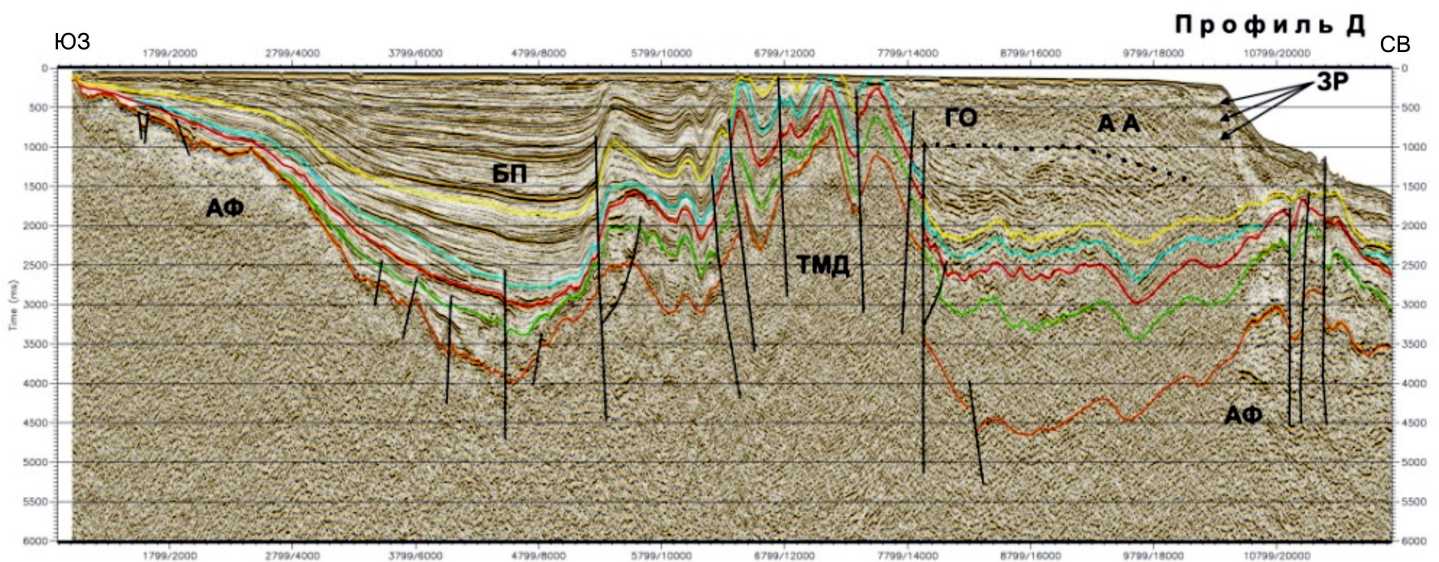
Fig. 5. CDP profile V. Its position is shown in Figures 1 and 2; the legend is given in Figure 3. ЗР – reverberation zone. The black-boxes line here and in Figures 6 and 7 shows local non-conformity between the Pomyrskie and Deryuginskie sediments.





**Рис. 6.** Профиль Г. Положение на рис 1, 2, остальные обозначения на рис. 3, 5. Пунктирная линия – кровля осадочного основания крупного островного? вулкана (ВЛК) с вершинным кратером (К).

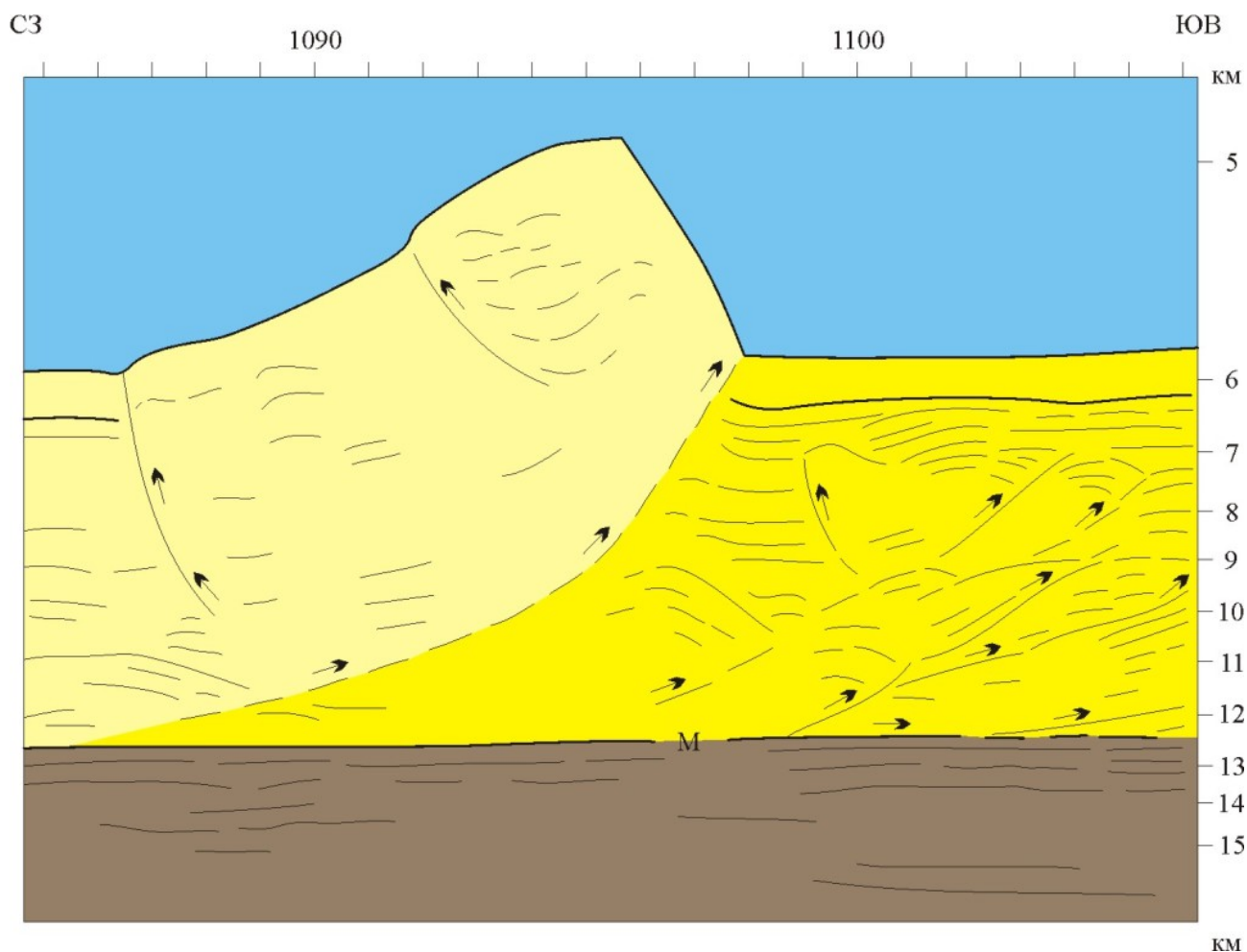
**Fig. 6.** CDP profile Г. Its position is shown in Figures 1 and 2; the legend is given in Figures 3 and 5. The dotted line shows the cover of the sedimentary foundation of the large island (?) volcano (ВЛК) with the summit crater (К).



**Рис. 7.** Профиль Д. Положение на рис. 1, 2, остальные обозначения на рис. 3, 5. АА – дерюгинская авандельта Амура, БП – тыловой Байкальский прогиб между Сахалином и погребенной хабаровской континентальной окраиной.

**Fig. 7.** CDP profile Д. Its position is shown in Figures 1 and 2; the legend is given in Figures 3 and 5. АА – Deryuginskaya delta front of the Amur river; БП – rear Baikalsky trough between Sakhalin and the buried Khabarovskaya continental margin.





**Рис. 8.** Фрагмент глубинного разреза СЗ плиты на региональном профиле МОГТ 1 на ложе СЗ Пацифики близ разлома Тускарора с надвиговой моноклиальной грядой в зоне дивергентного гравитационного срыва [Ломтев, 2008, 2010]. **М** – деколлемент в подошве океанической коры. Коричневым цветом выделен автохтон, желтым – аллохтон и его отдельная тектоническая пластина (светло-желтый). Линии со стрелками – разломы и смещения по ним. Раскраска разреза – С.А. Антипов (ИМГиГ).

**Fig. 8.** The fragment of the deep NW section in the plate in the regional CDP profile 1 in the NW Pacific ocean bed near the Tuskarora fault with the thrusting monocline ridge in the zone of divergent gravity stripping [Ломтев, 2008, 2010]. **М** – oceanic crust bottom decollement. The autochthone is shown in brown; the allochthone is shown in yellow; its separate tectonic plate is shown in light yellow. Lines with arrows show faults and fault displacements. The profile colours are given according to S.A. Antipov (IMGiG).

склон. Впадину Дерюгина некоторые авторы объединяют с Восточно-Сахалинским прогибом в единый Дерюгинский осадочный бассейн [Харахинов, 2010] или, напротив, считают ее некомпенсированной частью этого прогиба [Ломтев и др., 2003].

Заложение прогибов Северного Сахалина традиционно определяют поздним палеогеном и связывают с рифтогенезом, а их инверсию и образование Сахалинской кордильеры – с сахалинской фазой тектогенеза [Тектоника..., 1963, 2004; Лопатнев и др., 1989; Харахинов, 2010]. По данным МОГТ, Восточно-Сахалинский прогиб выполнен кайнозойскими, в основном позднекайнозойскими, осадками. В сахалинскую фазу тектогенеза он был частично инверсирован, войдя в состав Сахалинской кордильеры.

С учетом представленных данных высокочастотно-

го МОГТ обратим внимание на следующие особенности строения кайнозойских осадков. В частности, на профилях А, Б (см. рис. 3, 4) нижние осадочные слои залегают с пологим подошвенным прилеганием, утонением и выклиниванием на восточном крыле Трехбратской мегаантиклинали, а в начале профиля Г (рис. 6) – и параллельно кровле акустического фундамента. Вышележащие нутовские и помырско-дерюгинские осадки на профилях А и Б также утоняются к востоку с выходом на ложе впадины Дерюгина, хотя и без ясных признаков пологого подошвенного прилегания из-за избыточной газонасыщенности разреза. Опираясь на работы Г.С. Мишакова и Ю.В. Лопатнева с соавторами [Мишаков и др., 1985; Лопатнев и др., 1989], приходим к выводу, что подобное строение кайнозойского чехла вызвано проградацией терриген-

ных осадков палео-Амура к востоку–юго-востоку в едином, Северо- и Восточно-Сахалинском и, возможно, Дерюгинском морском седиментационном бассейне.

Рассмотрим также особенности строения придонного, постнутовского разреза позднего плиоцена – плейстоцена. Он сложен финальными выносами палео-Амура, а в кровле – и продуктами позднечетвертичной абразии складчатых структур шельфа (бенч) Северного Сахалина (придонная контрастная сейсмопачка, формирующая выпуклый профиль средней части склона на профилях А, Б). Мощность разреза обычно не превышает 1–2 км. В стратиграфическом плане одни авторы объединяют их в помырский комплекс позднего плиоцена (2–3 млн лет [Кайнозой..., 2002]), выделяемый между дном и кровлей нутовского комплекса позднего миоцена – раннего плиоцена [Журавлев, 1984; Литвинова, 2010а]. Другие авторы верхнюю часть помырского разреза относят к дерюгинскому комплексу, датируемому концом позднего плиоцена – кварталом [Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования..., 1988; Харахинов, 2010]. По результатам анализа данных бурения и МОГТ на шельфе Северо-Восточного Сахалина утвердилось представление о развитии фанов (подводные конусы выноса) и оползней на внешнем шельфе и континентальном склоне [Мишаков и др., 1985; Кайнозой..., 2002; Харахинов, 2010]. Однако этим не объясняется спрямленность последнего в плане (см. рис. 1), отсутствие у него аккумулятивного подножия, которое по аналогии с подводными окраинами мира слагают конусы выноса каньонов и оползни [Геология..., 1978–1979], почти непрерывное и согласное прослеживание даже кровельных осадков с края шельфа на склон и ложе впадины Дерюгина, отсутствие нормальных (ступенчатых) сбросов на склоне и крупного фронтального разлома в его основании (см. рис. 3, 4), предполагаемое авторами работы [Осадконакопление..., 2008].

В контексте этой проблемы обратим внимание на залегание помырско-дерюгинских осадков (см. рис. 3, 4, 6, 7). Так, на шельфе Северо-Восточного Сахалина и п-ова Шмидта профили МОГТ надежно фиксируют угловое несогласие типа подошвенного прилегания и связанное с ним проградационное строение постнутовского разреза на восточном крыле Трехбратской мегаантиклинали. На ее южном погружении (шельф Северо-Восточного Сахалина) они отсутствуют и осадки залегают параллельно подстилающим толщам (см. рис. 3–5). Следовательно, это несогласие локальное и, вероятно, связано с внедрением Трехбратской молодой мегадайки как постседиментационной структуры и формированием подводного барьера на пути придонных потоков наносов, стекавших с края авандельты палео-Амура, возможно по аналогии с аллювиальной седиментацией в предгорьях (разгрузка потоков из-за заметного уменьшения наклона дна). Это несогласие можно предварительно принять за границу между по-

мырским и дерюгинским комплексами (см. рис. 5, 6).

Итак, шельф Северо-Восточного Сахалина слагают разные по возрасту осадки: нутовские к западу от Трехбратской мегадайки (внутренний шельф), помырские и дерюгинские восточнее (внешний шельф). В зоне развития первых картированы нефтегазоносные фации авандельты Амура и абрадируемые структуры тектонодиапировой природы, например Хангузинский глинистый диапир, ядро протыкания которого вскрыто бурением [Карпей и др., 1989; Ломтев и др., 2002, 2003].

На континентальном склоне Северного Сахалина помырские и дерюгинские осадки залегают почти согласно дну и подстилающим нутовским отложениям, поэтому их мощность выдержана по падению. Залегание осадков местами нарушают оползни. В их строении выделим кровельную контрастную пачку, сложенную в основном продуктами позднечетвертичной абразии островного шельфа и формирующую выпуклый профиль средней части склона, а также мелкую асимметричную мегарябь в его нижней части (осадочные волны, связанные с придонным контурным течением по аналогии с пассивными окраинами [Геология..., 1978–1979]). У основания склона помырские и дерюгинские осадки залегают с заметным утонением и налеганием на нутовский палеорельеф, и главное – с пологим подъемом слоев к востоку. Последнее – типичный артефакт в общепринятой схеме седиментации из обломочных и/или турбидитных потоков, стекавших с края авандельты палео-Амура [Мишаков и др., 1985]. Заметим, что аналогичное залегание имеют турбидитовые комплексы в молодых (0.5–1.0 млн лет) глубоководных желобах Пацифики [Ломтев, Патрикеев, 1988]. Их слои протягиваются на внешний склон за счет асимметричного погружения дна под аллохтонной литостатической нагрузкой на внутреннем склоне и выхода фанов каньонов на прилегающее ложе океана до заложения желобов [Геология..., 1978–1979; Ломтев, Патрикеев, 1985, 1988; Ломтев и др., 1997].

Заключая, отметим косослоистый, частично газонасыщенный разрез дерюгинских осадков на профиле Д (см. рис. 7). По аналогии с аналогичным разрезом нутовской авандельты палео-Амура на профилях МОГТ по западному крылу трехлучевой Хангузинской структуры на Охинском взморье [Карпей и др., 1989] он формирует широкий шельф подводного продолжения Северного Сахалина мористее Трехбратской мегаантиклинали и крутой аккумулятивный северо-западный склон впадины Дерюгина [Литвинова, Ломтев, 2010]. Аналогов этому разрезу южнее нет (см. рис. 3–6), поэтому приходим к выводу о недавней крупной миграции авандельты Амура из района Охинского перешейка к северу вдоль Байкальского тылового прогиба [Тектоника..., 2004] в обход п-ова Шмидта. Миграция, очевидно, связана с воздыманием Сахалинской кордильеры в сахалинскую фазу тектогенеза и компенсацией (выполнением) упомянутого прогиба (см. рис. 7).

Итак, новыми данными высокочастотного МОГТ надежно устанавливается аккумулятивное строение флексурного склона Северного Сахалина и его, вероятно, тектоническая (фронтальный разлом) спрямленность.

#### 4. ГАЗ И ПРИДОННЫЕ ГАЗОГИДРАТЫ

На профилях МОГТ и НСП избыточную газонасыщенность кайнозойского чехла на подводных континентальных окраинах мира определяют по газовым окнам, столбам, факелам (в том числе в воде), грязевулканам и близким им по строению структурам прорыва флюидов [Ломтев и др., 2004]. На континентальных окраинах обнаружены и местами разбурены газогидраты, фиксируемые на сейсмопрофилях контрастной и параллельной дну отражающей границы BSR (bottom-simulating reflector) в кайнозойских отложениях на глубинах до 300–600 м под дном [Геология..., 1978–1979; Веселов и др., 2000].

На подводной окраине Северного Сахалина газ (в основном метан) в осадках (по данным НСП и МОГТ [Мудрецов, Жильцов, 1990; Журавлев, 1995; Ломтев и др., 2004]) и воде, а также придонные газогидраты хорошо известны по данным ТОИ ДВО РАН [Nikolaeva et al., 2009; Обжиров, 1993].

Их результаты независимо подтверждают профили высокочастотного МОГТ ДМНГ 2000 и 2004 гг. с участками сложного волнового поля (см. рис. 3–7). Так, на профилях В–Д тонкий (до 10 м) слой придонных газогидратов залегает близ края шельфа практически непосредственно под дном. Он формирует зону реверберации сейсмического сигнала (система кратных волн), «забивающую» отражения от помырских и дерюгинских слоев.

На континентальном склоне акустически контрастные газогидраты, слегка драпированные рыхлыми осадками, имеют местами заметно увеличенную мощность (250–500 м при скорости распространения продольных волн в газогидратах 2.5 км/с) и весьма неровную, с карманами и уступами, подошву (см. рис. 1, 3–7). Лучшим примером является профиль В на рис. 5. Здесь под придонными газогидратами сформировалось крупное газовое окно с наложенными однократными и двукратными отражениями от них. Его появление указывает на экранирующие свойства газогидратов для рассеянного и мигрирующего кверху газа (флюидопор).

С учетом других профилей МОГТ можно говорить об островном (очаговом) характере распространения придонных газогидратов близ внешнего края шельфа и на подводном склоне Северного Сахалина. Метан здесь по последним данным [Nikolaeva et al., 2009] в основном биогенный. Основным источником его, в том числе по данным высокочастотного МОГТ ДМНГ, являются помырско-дерюгинские осадки позднего

плиоцена – квартера, точнее разлагающаяся в них *in situ* органика. Следовательно, ареал развития газогидратов в Охотском море охватывает не только его батиналь [Веселов и др., 2000], но местами и его шельф.

Отметим также, что все выделенные на профилях МОГТ поля придонных газогидратов располагаются близ края шельфа и на континентальном склоне, т.е. на удалении от Трехбратской мегадайки. Непосредственно над ней (см. рис. 3–6), а также в тыловом Байкальском прогибе (см. профиль Д на рис. 7) придонные газогидраты отсутствуют, возможно из-за относительно повышенного теплопотока от мегадайки.

Другая особенность связана с возможностью определения относительного возраста или времени образования придонных газогидратов, а в некоторых случаях и соответствующей палеогеографической обстановки. В частности, газогидраты у края шельфа с кратными отражениями зон реверберации (см. рис. 5–7) формировались в позднем плейстоцене примерно 0.1 млн лет т.н. в связи с его абразией и осушением [Марков, Уткин, 2009] как слой сезонной, а затем и вечной мерзлоты. И напротив, склоновые придонные газогидраты на рис. 3–7 сформированы в подводных, хотя и относительно неглубоких, условиях, но практически в то же время. Последнее связано с тем, что по крайней мере на профилях А, Б газогидраты сформированы в слое, сложенном в основном продуктами абразии шельфа Северного Сахалина, а на профиле В образуют единый непрерывный слой, спускающийся с края шельфа на склон. Источником газа при образовании придонных гидратов, вероятно, был биогенный метан из помырских и дерюгинских осадков [Nikolaeva et al., 2009].

Особо отметим, что придонные газогидраты обнаружены у края шельфа и на склоне, т.е. на удалении от молодой Трехбратской мегадайки (см. рис. 2–6). Причиной этого, очевидно, является повышенный теплопоток от нее, атипичный для ее альтернативной трактовки как холодной протрузии серпентинитов [Харяхинов, 2010]. В этой связи мегадайка могла способствовать термогенерации УВ в Северо-Сахалинском кайнозойском нефтегазоносном бассейне [Ломтев и др., 2002].

Подводя итог, выделим профили В, Г и Д (см. рис. 5–7), которые отчетливо показывают, насколько в ареалах развития придонных газогидратов, связанных с ними газовых окон и кратных отражений ограничены возможности геологической интерпретации высокочастотного МОГТ.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые данные высокочастотного МОГТ, грави- и магниторазведки по подводной окраине Северного Сахалина и их интерпретация позволяют заключить, что Трехбратская мегаантиклиналь, протяженностью 360 км, включающая в себя Восточный хребет п-ова



Шмидта, имеет, вероятно, интрузивную природу (ранне-среднечетвертичная одноименная мегадайка ультрабазитов, возможно серпентинитов, маркируемая положительными линейными аномалиями гравитационного и магнитного полей). В помырско-дерюгинских осадках на профилях МОГТ обнаружены признаки проградационного строения, известного в осадочном выполнении Северо-Сахалинского осадочного бассейна, и крупное локальное несогласие, обусловленное, вероятно, внедрением мегадайки. Близ каньона Ионы дерюгинские косослоистые фации молодой авандельты Амура слагают внешний шельф и склон подводного продолжения Сахалина, что связано с миграцией авандельты из района Охинского перешейка. На профилях МОГТ четко зафиксированы контрастные придонные газогидраты (флюидоупоры) с неровной подошвой, кратными отражениями и газовыми окнами, иногда крупными. В результате намечены новые объекты исследований и выявлены актуальные проблемы в геологии и тектонике подводной окраины Северного Сахалина и Северо-Сахалинского кайнозойского осадочного и нефтегазоносного бассейна в целом.

Авторы благодарны В.А. Зайцеву (ОАО «Дальмор-нефтегеофизика») за предоставленные схемы аномалий магнитного и гравитационного полей по исследуемому региону Северного Сахалина и прилегающей акватории Охотского моря, а также кандидатам геолого-минералогических наук В.А. Паровышнему и В.Н. Патрикееву (ИМГиГ ДВО РАН) за конструктивное обсуждение настоящей работы, особенно в части выделения молодой Трехбратской мегадайки по данным МОГТ, грави- и магнитометрии, полезные замечания и советы. Особо авторы благодарны рецензенту доктору геолого-минералогических наук В.В. Мордвиновой, замечания и предложения которой позволили более компактно изложить материал, улучшить стиль и графику статьи.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- Веселов О.В., Куделькин В.В., Чухонцев В.И. Особенности распространения и образования газовых гидратов в Охотском море // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах северо-западной окраины Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. Т. 1. С. 7–37.
- Геологическое строение и газонефтегазоносность северной части Сахалина. Л.: Гостоптехиздат, 1959. 233 с.
- Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского осадочного бассейна. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 142 с.
- Геология континентальных окраин. В 3-х томах. М.: Мир, 1978–1979. 356 с.; 372 с.; 402 с.
- Гнибиденко Г.С. Тектоника дна окраинных морей Дальнего Востока. М.: Наука, 1979. 161 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:2000000. Изд. второе. Серия Сахалинская. Лист N-54-XVII (мыс Елизаветы). Объяснительная записка / А.А. Коноваленко, Б.А. Науменко, А.Р. Речкин, И.Б. Васюк, Ю.В. Костров. СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2009. 127 с.
- Журавлев А.В. Сравнительная характеристика впадин Дерюгина и Тинро Охотского моря // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 21–27.
- Журавлев А.В. Возможности нестандартного анализа сейсмических материалов для поисков полезных ископаемых (на примере Охотско-Курильского района). М.: ВНИИОУ и ЭНП, 1995. 43 с.
- Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
- Карпей Т.И., Ломтев В.Л., Валиев С.Г. Геолого-геофизические материалы к паспорту на Хангузинскую морскую антиклинальную структуру, подготовленную к глубокому бурению на шельфе СВ Сахалина. Южно-Сахалинск: ДМНГ, 1989. 11 с.
- Комплексные рекогносцировочные геофизические исследования в Охотском море (объект 11/86). Южно-Сахалинск: ДМНГ, 1988. 284 с.
- Литвинова А.В. Влияние температурного режима на формирование залежей углеводородов на Баутинской антиклинальной структуре по результатам 2D моделирования (шельф Северо-Восточного Сахалина) // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Тезисы докладов V Сахалинской молодежной научной школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010а. С. 112–114.
- Литвинова А.В. Основные особенности сейсмокомплексов кайнозойского чехла впадины Дерюгина // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Материалы IV Сахалинской молодежной научной школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010б. С. 143–149.
- Литвинова А.В., Ломтев В.Л. К строению подводного продолжения Северного Сахалина // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Тезисы докладов V Сахалинской молодежной научной школы. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010. С. 109–112.
- Ломтев В.Л. К диагностике пластовых срывов // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы XLI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С. 508–512.
- Ломтев В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики // Уральский геофизический вестник. 2010. № 1(16). С. 21–32.
- Ломтев В.Л., Жигулев В.В., Кононов В.Э., Агеев В.Н. Возможности метода непрерывного сейсмического профилирования (НСП) при нефтегазопоисковых исследованиях // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. Т. 1. С. 107–119.
- Ломтев В.Л., Жигулев В.В., Патрикеев В.Н., Агеев В.Н. Проблемы геологии Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна // Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин Севера Пацифики: Материалы Всероссийского совещания. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 38–40.
- Ломтев В.Л., Кононов В.Э., Агеев В.Н., Жигулев В.В. Проблемы геологии шельфа Северо-Восточного Сахалина // Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей Северо-Западной Тихоокеанской плиты: Материалы междунар. науч. симп. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. Т. 2. С. 79–81.
- Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник ДВО РАН. 2007. № 4. С. 64–71.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 141 с.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. О четвертичном возрасте тихоокеанских желобов // Геоморфология. 1988. № 4. С. 55–63.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Сейсмические исследования ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980–2005 гг.) // Вестник ДВО РАН. 2006. № 1. С. 59–66.
- Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Немченко Г.С. Сейсмостратиграфия кайнозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана // Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 21–41.
- Лопатнев Ю.В., Харахинов В.В., Кононов В.Э., Слуднев Ю.Г. Сейсмостратиграфическая модель Северо-Сахалинского осадочно-

- го бассейна // Геология дна Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 111–116.
- Маргулис Л.С., Мудрецов В.Б., Сапожников Б.Г., Федотов Г.П., Хведчук И.И.* Геологическое строение северо-западной части Охотского моря // Советская геология. 1979. № 7. С. 61–71.
- Марков Ю.Д., Уткин И.В.* Развитие шельфа залива Петра Великого в позднем плейстоцене и голоцене // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: ГЕОС, 2009. С. 113–123.
- Мишаков Г.С., Бабаева Н.И., Ковальчук В.С.* Условия накопления неогеновых отложений Северного Сахалина // Советская геология. 1985. № 7. С. 56–68.
- Мудрецов В.Б., Жильцов А.М.* Аномальные сейсмоакустические зоны на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 1990. № 3. С. 108–112.
- Обжиров А.И.* Газохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 140 с.
- Осадконакопление и рудогенез во впадине Дерюгина (Охотское море).* Владивосток: Дальнаука, 2008. 289 с.
- Ратновский И.И.* Геологическое строение полуострова Шмидта на Сахалине. Л.: Гостоптехиздат, 1960. 105 с.
- Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.* Глубинное строение впадины Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 4. С. 3–8.
- Тектоника, история геологического развития и перспективы нефтегазоносности Сахалина.* Л.: Гостоптехиздат, 1963. 275 с.
- Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря.* Владивосток: ДВО РАН, 2004. 159 с.
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 275 с.
- Nikolaeva N.A., Derkachev A.N., Obzhirov A.I.* Characteristic features of the occurrence of gas-fluid emanations on the northeastern slope of Sakhalin Island, Sea of Okhotsk // Russian Journal of Pacific Geology. 2009. V. 3. № 3. P. 234–248. doi:10.1134/S181971400903004X.



**Ломтев Владимир Леонидович**, канд. геол.-мин. наук, в.н.с., лаб. сейсмоки и морской акустики  
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН  
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия  
Тел.: (4242)791690 (вахта ИМГиГ) доб. 238; ✉ e-mail: lomtev@imgg.ru

**Lomtev, Vladimir L.**, Candidate of Geology and Mineralogy, Lead Researcher, Lab. of Seismics and Marine Acoustics  
Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS  
693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki street, 1B, Russia  
Tel.: (4242)791690 (IMGiG), ext. 238; ✉ e-mail: lomtev@imgg.ru



**Литвинова Анна Владимировна**, геолог 2-й категории Геологической службы ОАО «Дальморнефтегеофизика», аспирант ИМГиГ ДВО РАН  
ОАО «Дальморнефтегеофизика»  
693004, Южно-Сахалинск, проспект Мира, 426, Россия  
Тел.: (4242)466799; e-mail: litvinova@dmng.ru

**Litvinova, Anna V.**, Geologist (Category 2), Geological Survey of OJSC Dalmorneftegeofizika,  
Post-graduate student in IMGiG, Far East Branch of RAS  
OJSC Dalmorneftegeofizika  
693004, Yuzhno-Sakhalinsk, Prospekt Mira, 426, Russia  
Tel.: (4242)466799; e-mail: litvinova@dmng.ru