

**ФЛЮИДОКОНТРОЛИРУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ НОСАППУ И УСЛОВИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ МЕТАНА И ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗОГИДРАТОВ (ОХОТОМОРСКИЙ
РЕГИОН)**

С.А. Касаткин¹, А.И. Обжиров²

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: kasatkin04@hotmail.com

²ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041; e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 21 марта 2017 г.

После глубокофокусного (625.9 км) землетрясения в районе Охотского моря 14 августа 2012 г. отмечено резкое повышение интенсивности подводных газовых факелов. В связи с этим для периода времени с 1977 по 2010 гг. проанализированы данные расшифровок фокальных механизмов землетрясений сдвигового типа в сейсмофокальной зоне субдуцирующей Тихоокеанской плиты в пределах Охотоморского региона. Выявлена сопряженная система ССЗ левых и СВ правых сдвигов, образовавшихся под действием ЗСЗ сжатия. Установлено, что правые сдвиги распространены преимущественно на глубинах до 200 км вдоль простирания Курильских островов, а левые – сосредоточены в разломной зоне Носаппу и прослеживаются в ССЗ направлении до глубины 680 км. В этом же (ССЗ) направлении ориентирован ореол мест выходов газовых факелов и проявлений газогидратов. Таким образом, обнаружилась флюидоконтролирующая роль разломной зоны Носаппу, обеспечивающая проницаемость субдуцирующего слэба Тихоокеанской плиты для восходящих флюидов из нижней мантии.

Ключевые слова: зона субдукции, фокальный механизм землетрясения, газогидраты, газовые факелы, разломная зона Носаппу, Охотоморский регион.

Проявления газогидратов в Охотоморском регионе на северо-восточном шельфе острова Сахалин, где локализованы многочисленные нефтегазовые залежи, известны с 1991 г. [4, 8]. Газогидраты – кристаллические соединения из воды и газа – образуются в верхних слоях донных морских осадков вблизи потоков пузырей метана (газовых факелов) при высоком давлении и низкой температуре (рис. 1). В Охотском море они обнаружены на минимальной глубине – 386 м – и при температуре придонной воды +2.4°C. При такой же температуре, но на меньшей глубине моря газогидраты не образуются [6].

Считается, что основным источником метана являются нефтегазосодержащие слои, залегающие глубоко в осадочной толще, из которых по зонам разломов при сейсмотектонической активизации метан мигрирует вверх, и в донных осадках образуются газогидраты, что показывает наличие их пространственной взаимосвязи. На этой основе разработаны методы поиска газогидратов и нефтегазовых залежей [3].

Вместе с тем, в последние годы в южной части Охотского моря и Татарском проливе были открыты новые участки проявления потоков метана и газогидратов (рис. 2) [5]. Нахождение таковых вне известных нефтегазовых месторождений, а также на зашельфовых глубинах, вызывает особый интерес и позволяет предполагать связь обнаруженных залежей углеводородов с глубинными источниками. В то же время, данные сейсмической томографии [2] показывают, что под литосферой центрального и южного Сахалина находится субдуцирующий слэб одного из фрагментов Тихоокеанской (ТО) плиты, который, по сути, перекрывает поток мантийных углеводородных флюидов.

Между тем, 14 августа 2012 г. в Охотском море в 168 км от берегов Сахалина (49.784° с.ш., 145.126° в.д.) на предельной глубине для слэба ТО плиты – 625.9 км – произошло землетрясение с магнитудой 7.7. Участники международной морской экспедиции LV59, проводившие гидроакустические

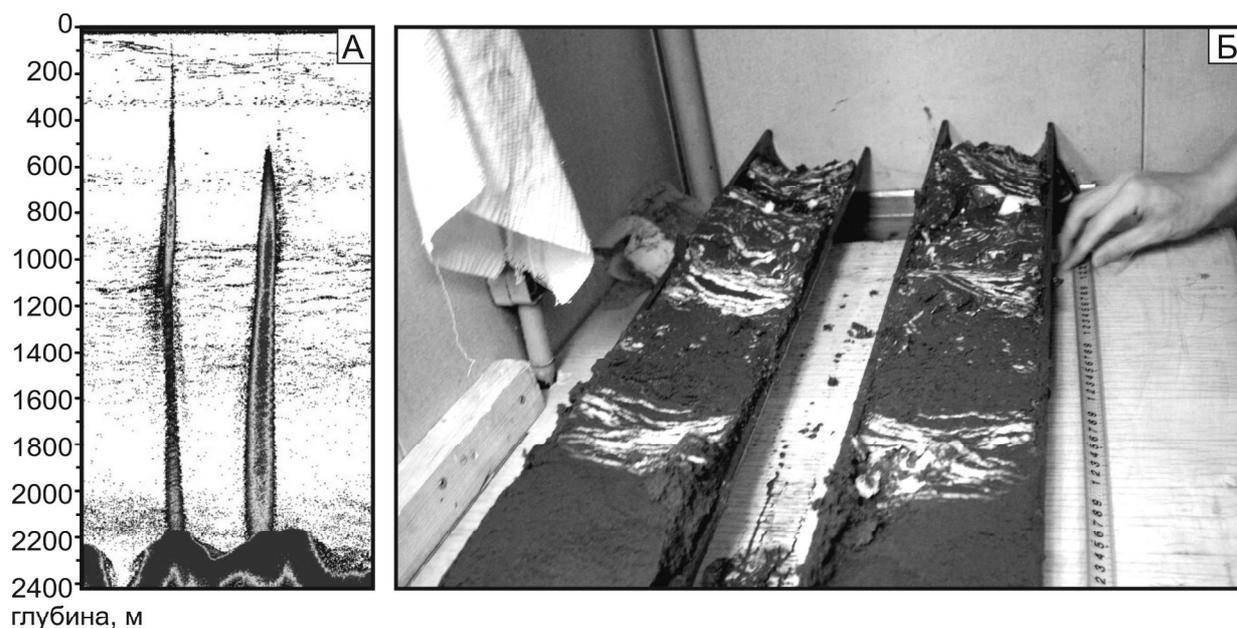


Рис. 1. Отображение потока пузырей газа с аномальной концентрацией метана на гидроакустическом профиле в юго-западной части Охотского моря (А) и газогидраты (белые слои) в илстых отложениях вблизи потока пузырей газа с метаном (Б).

исследования и поиск новых проявлений потоков метана и залежей газогидратов в этом районе, стали свидетелями резкого повышения интенсивности подводных газовых факелов, достигающих поверхности воды (рис. 1 А). Таким образом, обнаружилась явная взаимосвязь глубинной тектонической активности в пределах слэба, расположенного в переходной зоне, с увеличением потока пузырей метана, выходящих из морского дна.

Для исследования этой взаимосвязи нами были проанализированы местоположения всех сильных ($M \geq 5$) землетрясений в сейсмофокальной зоне (глубина 50–700 км) Охотоморского региона, зарегистрированных в каталоге Национального информационного центра землетрясений США (National Earthquake Information Center (NEIC)) в период с 1977 по 2010 гг., для которых приведены данные расшифровок фокальных механизмов. Важными результатами этих расшифровок являются, прежде всего, ориентировки главных нодальных плоскостей разрывов с направлением (типом) смещений, пространственные положения осей сжатия, растяжения и средней оси деформаций в очаге землетрясения. Особое внимание при анализе было уделено распределению очагов сдвигового типа – с крутонаклонным ($40\text{--}90^\circ$) погружением средней оси деформаций и близгоризонтальным ($0\text{--}30^\circ$) лево- и правосторонним смещением в плоскости разрыва, поскольку именно сдвиги могут формировать в слэбе структуры растяжения,

обеспечивающие его проницаемость для мантийных флюидов [1].

Полученные результаты распространения очагов землетрясений сдвигового типа выявили следующие закономерности. Правые сдвиги имеют преимущественно СВ простирание и распространены, главным образом, на глубинах до 200 км вдоль Курильских островов. Подавляющее большинство левых сдвигов концентрируется в южной части Курильских островов и прослеживается до глубины 680 км в ССЗ направлении в пределах субдуцирующего слэба (рис. 2).

Совокупность простираний левых (ССЗ $330\text{--}340^\circ$) и правых (СВ $50\text{--}60^\circ$) сдвигов можно рассматривать как сопряженную систему (рис. 2 А), поскольку оси сжатия этих сместителей ориентированы преимущественно на ЗСЗ (290°) (рис. 2 Б), что согласуется с генеральным направлением движения Тихоокеанской плиты (рис. 2).

Проявление правых сдвигов СВ простирания, вероятно, связано с правосторонними проскальзываниями погружающегося в ЗСЗ направлении слэба вдоль Курильского желоба (рис. 2).

Вместе с тем, весьма любопытным представляется аномальное проявление ССЗ левых сдвигов в южной части Курильских островов (рис. 2). При детальном рассмотрении оказалось, что повышенная сейсмичность этой области обусловлена активизацией разрывных нарушений разломной зоны Носап-

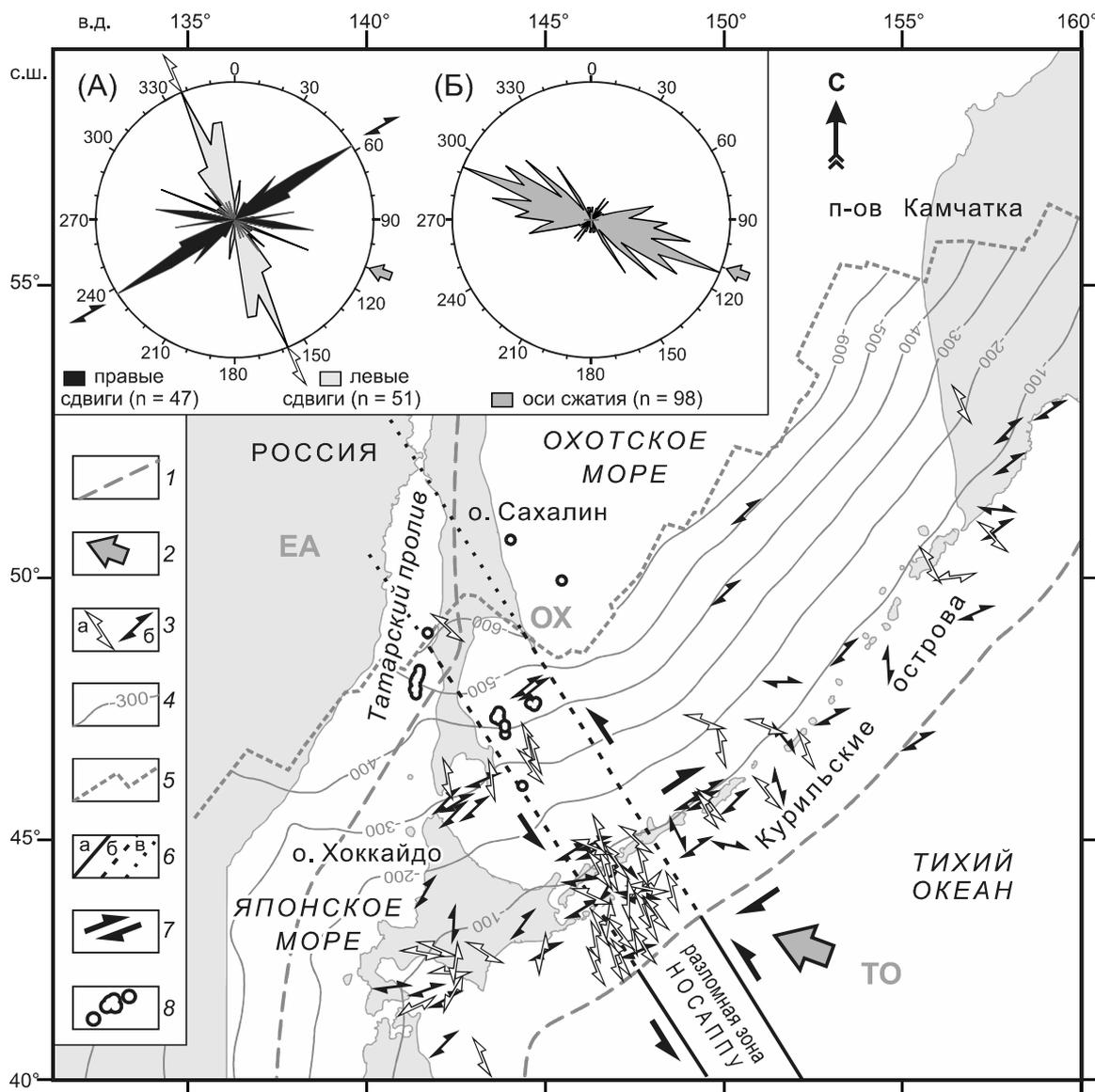


Рис. 2. Проявления потоков метана и залежей газогидратов в южной части Охотоморского региона и распределение землетрясений (1977–2010 гг.) с доминантой сдвиговых смещений в пределах зоны субдукции Тихоокеанской плиты (40–55° с.ш., 140–160° в.д.) с соответствующими им розами-диаграммами простираний: левых и правых сдвигов (А) и осей сжатия (Б).

1 – границы плит: Евразийской (ЕА), Охотской (ОХ) и Тихоокеанской (ТО); 2 – направление движения ТО плиты; 3 – левые (а) и правые (б) сдвиги; 4–5 – зона субдукции: изолинии кровли (4), цифры – глубина (км) и ее нижняя граница (5); 6 – сместители разломной зоны Носаппу: на поверхности плиты (а) и предполагаемые в зонах субдукции (б) и стагнации (в); 7 – направление главных сдвиговых смещений: вдоль Курильских островов (правые сдвиги) и разломной зоны Носаппу (левые сдвиги); 8 – места выходов потоков метана и залежей газогидратов.

пу (РЗН), которая находится на ТО плите и простирается более чем на 1000 км от западной окраины возвышенности Шатского до Курильского желоба [9, 10]. Изначально в период поздней юры и раннего мела РЗН сформировалась как трансформный разлом типа хребет-хребет между плитами Изнаги и Тихоокеанской. Согласно данным палеомагнитных исследований, суммарная амплитуда левосторонне-

го смещения по РЗН составляет около 150 км [11]. Следовательно, в условиях субдукции эта разломная структура является наиболее ослабленной частью слэба, по сместителям которой и в настоящее время фиксируются продольные «клавишные» движения с доминантой левосторонних смещений ССЗ простирания (рис. 2). Структуры сосдвигового растяжения, где мантийные флюиды вероятнее всего проникают

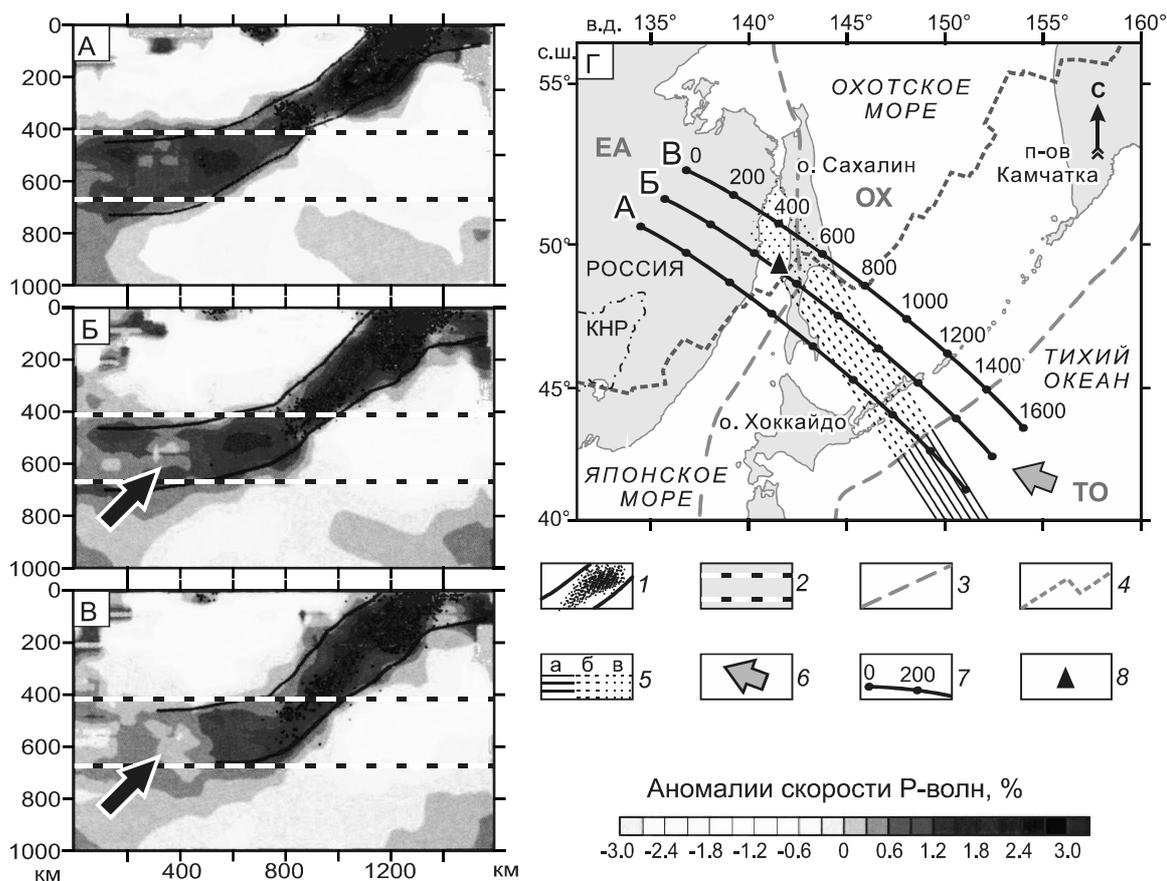


Рис. 3. Отображение слэба Тихоокеанской плиты на томографических профилях (А, Б, В) и их положение в плане (Г) (по [2], с изменениями и дополнениями).

Черной стрелкой показаны области пониженных скоростей Р-волн, обусловленные сместителями разломной зоны Носаппу.

1 – верхняя и нижняя границы слэба (сплошные линии) и гипоцентры землетрясений в пределах полосы не более 50 км от профиля (точки); 2 – границы переходной зоны; 3 – границы плит: Евразийской (ЕА), Охотской (ОХ) и Тихоокеанской (ТО); 4 – нижняя граница зоны субдукции; 5 – разломная зона Носаппу: на поверхности ТО плиты (а), в зонах субдукции (б) и стагнации (в); б – направление движения ТО плиты; 7 – положение профилей в плане, цифры – расстояние в км; 8 – Изльметьевское месторождение природного газа.

сквозь «холодный» слэб, отображаются на томографических профилях [2] в переходной зоне в виде локальных участков пониженных скоростей Р-волн, которые совпадают с направлением главных сместителей РЗН [1] (рис. 3).

Таким образом, изложенные данные позволяют рассматривать РЗН в качестве структуры, обеспечивающей формирование каналов проницаемости для восходящих флюидов из нижней мантии (рис. 4). В земной коре контроль флюидодинамической активности осуществляется глубинными разломами, в основном, субмеридионального простирания [7]. Выявленное сочетание разрывных структур слэба и земной коры объясняет общую тенденцию распределения (в ССЗ направлении) газовых факелов и газогидратов

в южной части Охотского моря и Татарском проливе (рис. 4).

Приведенные доказательства флюидоконтролирующего значения разломной зоны Носаппу и подобных ей структур, где при сейсмодислокациях в субдуцирующем слэбе могут формироваться структуры сосдвигового растяжения, по мнению авторов, необходимо учитывать при поисках новых газовых факелов, газогидратов и нефтегазовых залежей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. В.Г. Хомичу за редакторскую правку и ценные замечания, которые существенно улучшили восприятие статьи.

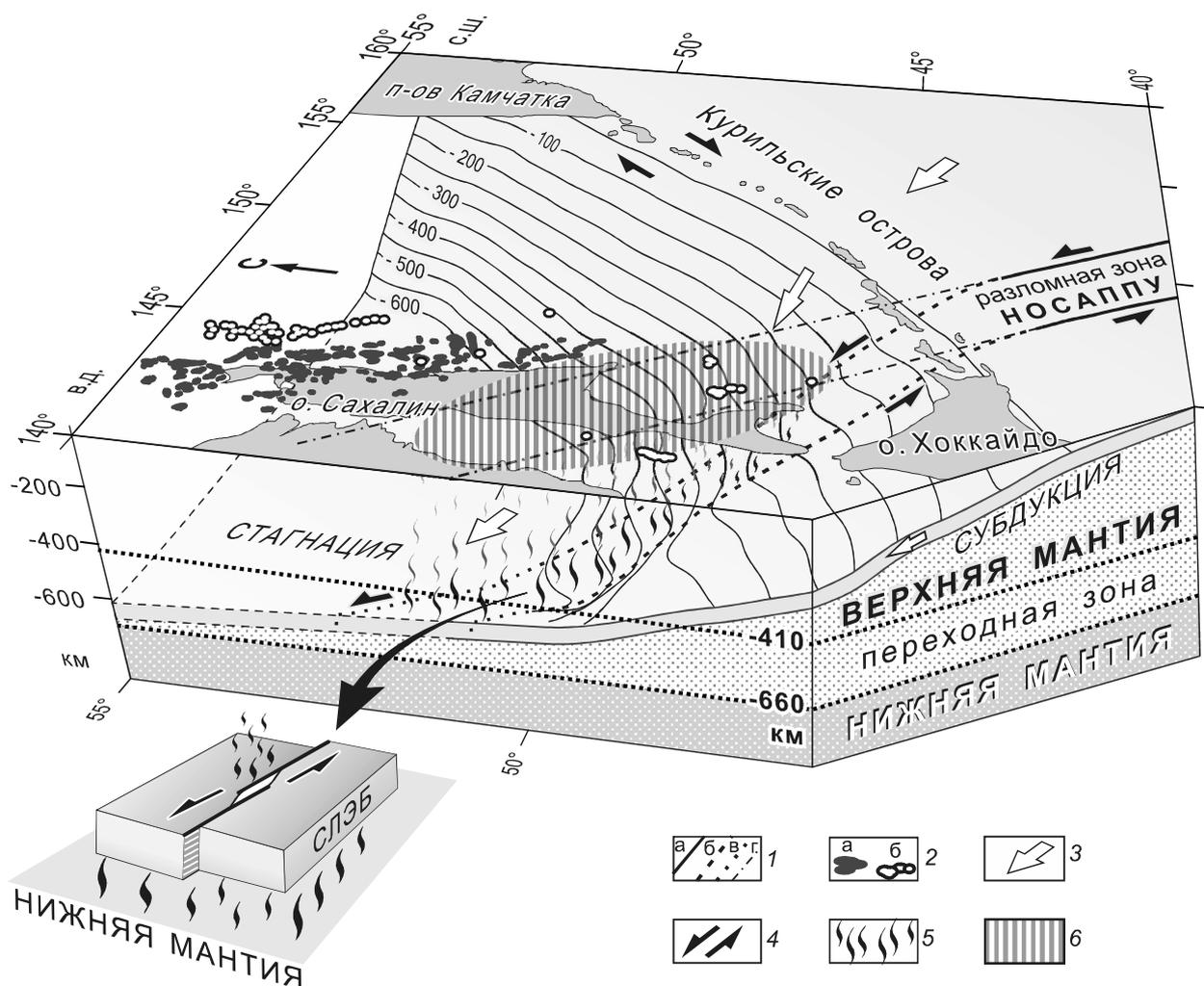


Рис. 4. Район вероятного выхода мантийных флюидов при левосдвиговых дислокациях в пределах разломной зоны Носаппу и распределение потоков метана и залежей газогидратов.

1 – сместители разломной зоны Носаппу: на поверхности плиты (а), предполагаемые в зонах субдукции (б), стагнации (в) и их проекция на поверхность (г); 2 – нефтегазовые залежи (а) и места выходов потоков метана и залежей газогидратов (б); 3 – направление движения Тихоокеанской плиты; 4 – направление главных сдвиговых смещений: вдоль Курильских островов (правые сдвиги) и разломной зоны Носаппу (левые сдвиги); 5 – мантийный флюидный поток; 6 – район вероятного выхода мантийных флюидов. На врезке показана модель формирования канала проницаемости в слэбе для флюидов нижней мантии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин С.А. Современные сдвиговые дислокации в сейсмофокальной зоне Охотоморского региона и значение разломной зоны Носаппу в формировании Северо-Сахалинской нефтегазоносной области // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Т. 2. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 309–312.
2. Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А., Яковлев А.В. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 6. С. 830–851.
3. Обжиров А.И. История открытия газогидратов в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 2. С. 72–82.
4. Обжиров А.И. Геология и методы поиска газогидратов // Вестн. инж. шк. ДВФУ. 2012. № 1 (10). С. 90–93.
5. Обжиров А.И., Шакиров Р.Б. Комплексные геолого-геофизические исследования газогидратов в Охотском море // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 4. М.: ГЕОС, 2012. С.122–136
6. Обжиров А.И., Телегин Ю.А., Болобан А.В.. Потоки метана и газогидраты в Охотском море. // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 1(19). С. 56–63.
7. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2009. 276 с.
8. Matveeva T., Shoji H., Soloviev V. et al. Geochemistry of gas hydrate accumulation offshore NE Sakhalin Island (the Sea of Okhotsk): results from the KOMEX-2002 Cruise // Geo-Marine Lett. 2003. V. 23, N 3–4. С. 278–288.

9. Nakanishi M., Tamaki K., Kobayashi K. Mesozoic magnetic anomaly lineations and seafloor spreading history of the Northwestern Pacific // J. Geophys. Res. 1989. V. 94, N B11. P. 15437–15462.
10. Nakanishi M. Topographic expression of the five fracture zones in the northwestern Pacific ocean // Geophys. monogr. series. 1993. V. 77. P. 121–136.
11. Ogawa Y., Hirano, N. En echelon knolls in the Nosappu Fracture Zone, NW Pacific: A possible leaky transform fault zone // Shipboard Scientific Party Kr03-07. AGU. Fall Meeting 2003. Abstr. #V21D-0553.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

S.A.Kasatkin, A.I.Obzhirov

Fluid controlling role of the Nosappu Fracture Zone and conditions for methane current and gas hydrate deposits formation (The Sea of Okhotsk region)

After the deep-focus (625.9 km) earthquake in the Sea of Okhotsk in August, 14, 2012, a sharp increase in the intensity of underwater gas flares was noted. In this connection analyses were made of interpretation of focal mechanisms data for the strike-slip earthquakes in the subduction zone of the Pacific Plate within the Sea of Okhotsk region for the period from 1977 to 2010. It was revealed that NNW sinistral and NE dextral shifts form a conjugate system due to the WNW stress field. The dextral shifts are prevalent at the depths of about 200 km along the Kuril Islands extension, while the sinistral ones are concentrated in the Noshappu Fracture Zone and traced in the NNW direction up to the depth of 680 km. The area of gas flares discharge and gas hydrates show is oriented in the same (NNW) direction. Thus, the Nosappu Fracture Zone reveals itself as a structure providing permeability of the subducting slab of the Pacific plate for ascending fluids from the lower mantle.

Key words: Noshappu Fracture Zone, subduction zone, focal mechanism of earthquake, gas hydrate, gas flares, Sea of Okhotsk region.