

**СОВРЕМЕННЫЕ СДВИГОВЫЕ ДИСЛОКАЦИИ
В СЕЙСМОФОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ
ОХОТОМОРСКОГО РЕГИОНА
И ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ НОСАППУ
В ФОРМИРОВАНИИ
СЕВЕРО-САХАЛИНСКОЙ
НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ**

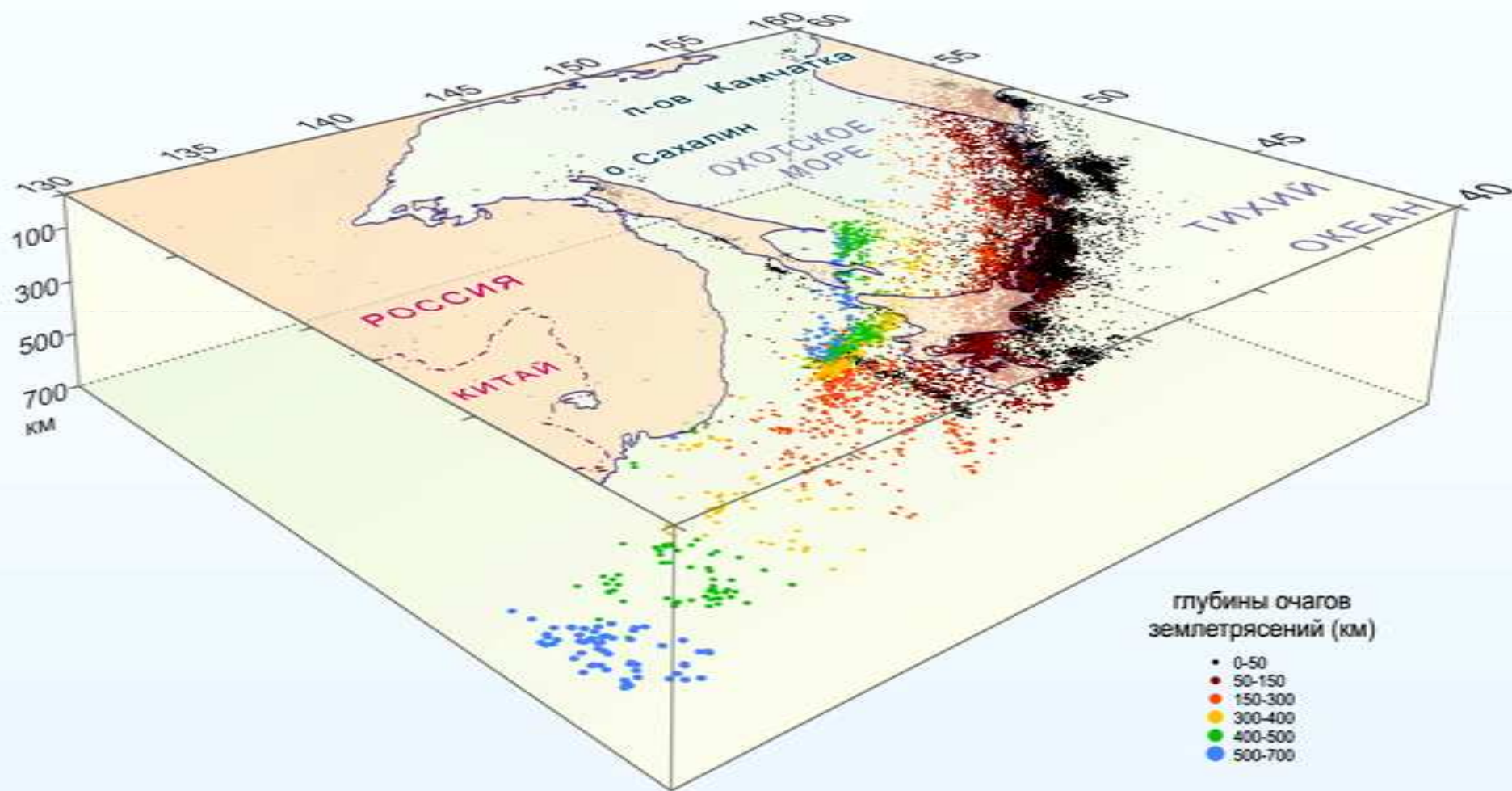
Касаткин Сергей Алексеевич

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

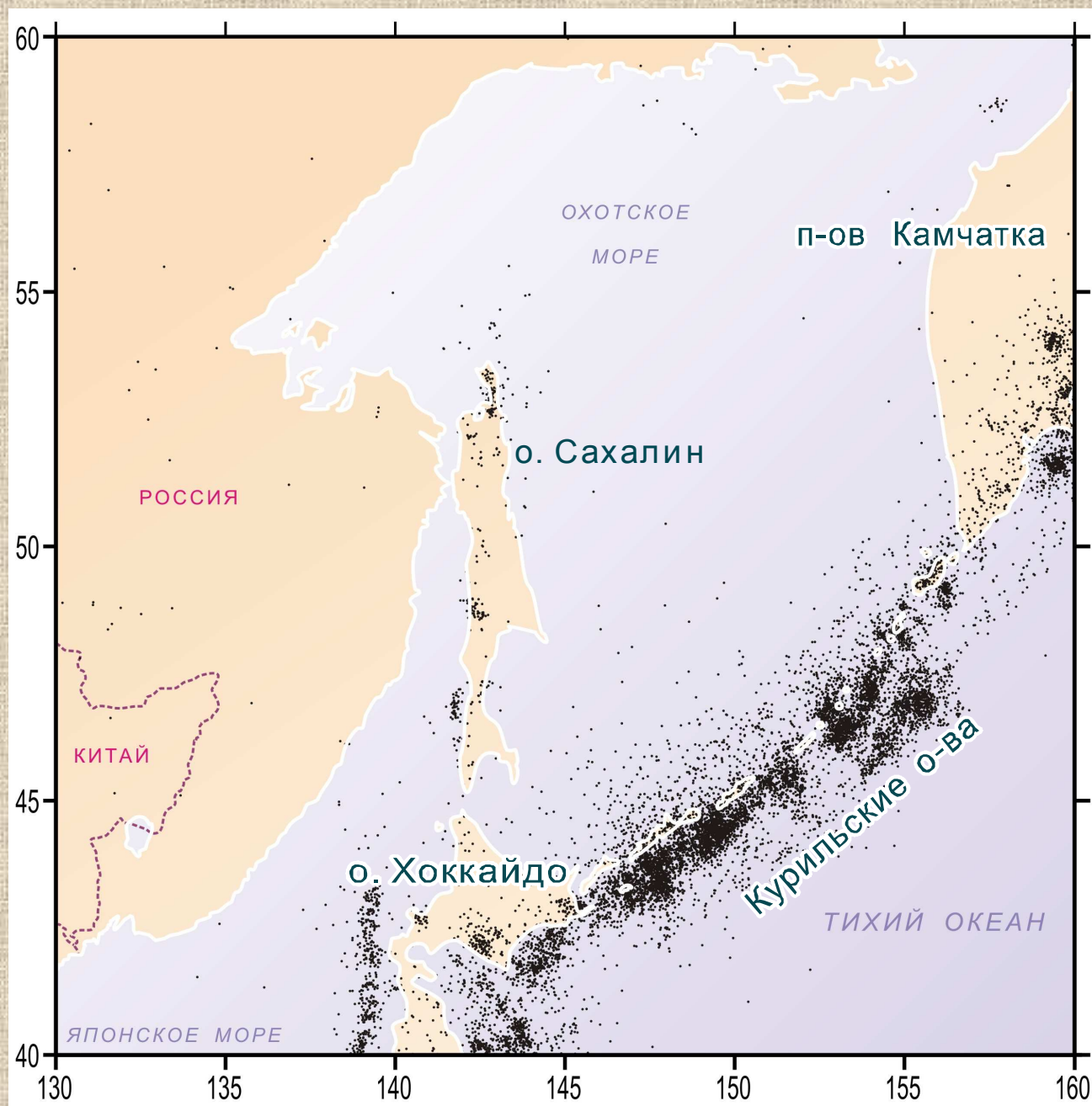
г. Владивосток

kasatkin04@hotmail.com

**Местоположения гипоцентров землетрясений Охотоморского региона
определяют пространство хрупких деформаций**



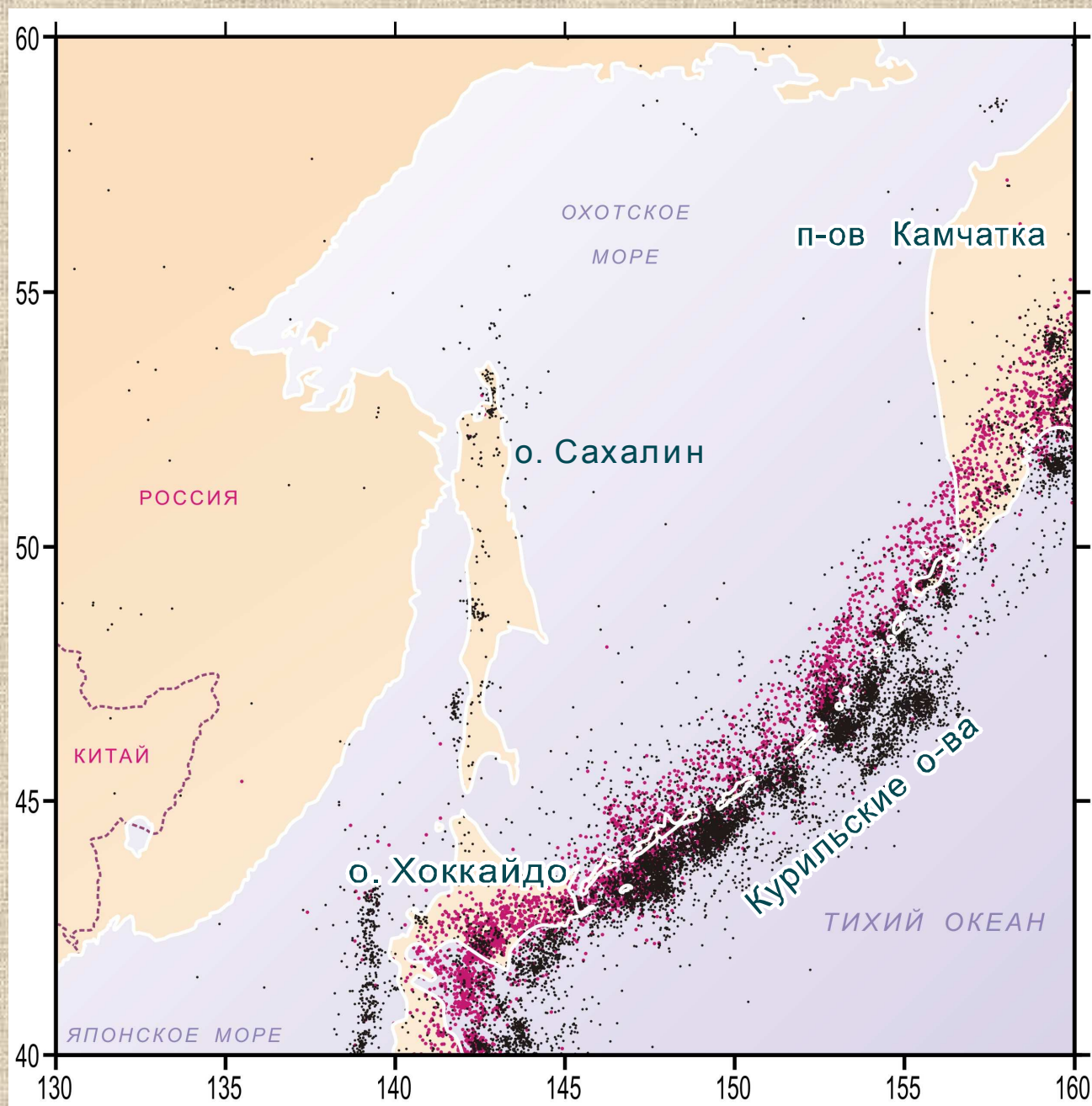
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



Более 60% общего количества землетрясений происходит на глубине до 50 км и распределяются, главным образом, вдоль Курило-Камчатской дуги и острова Сахалин.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

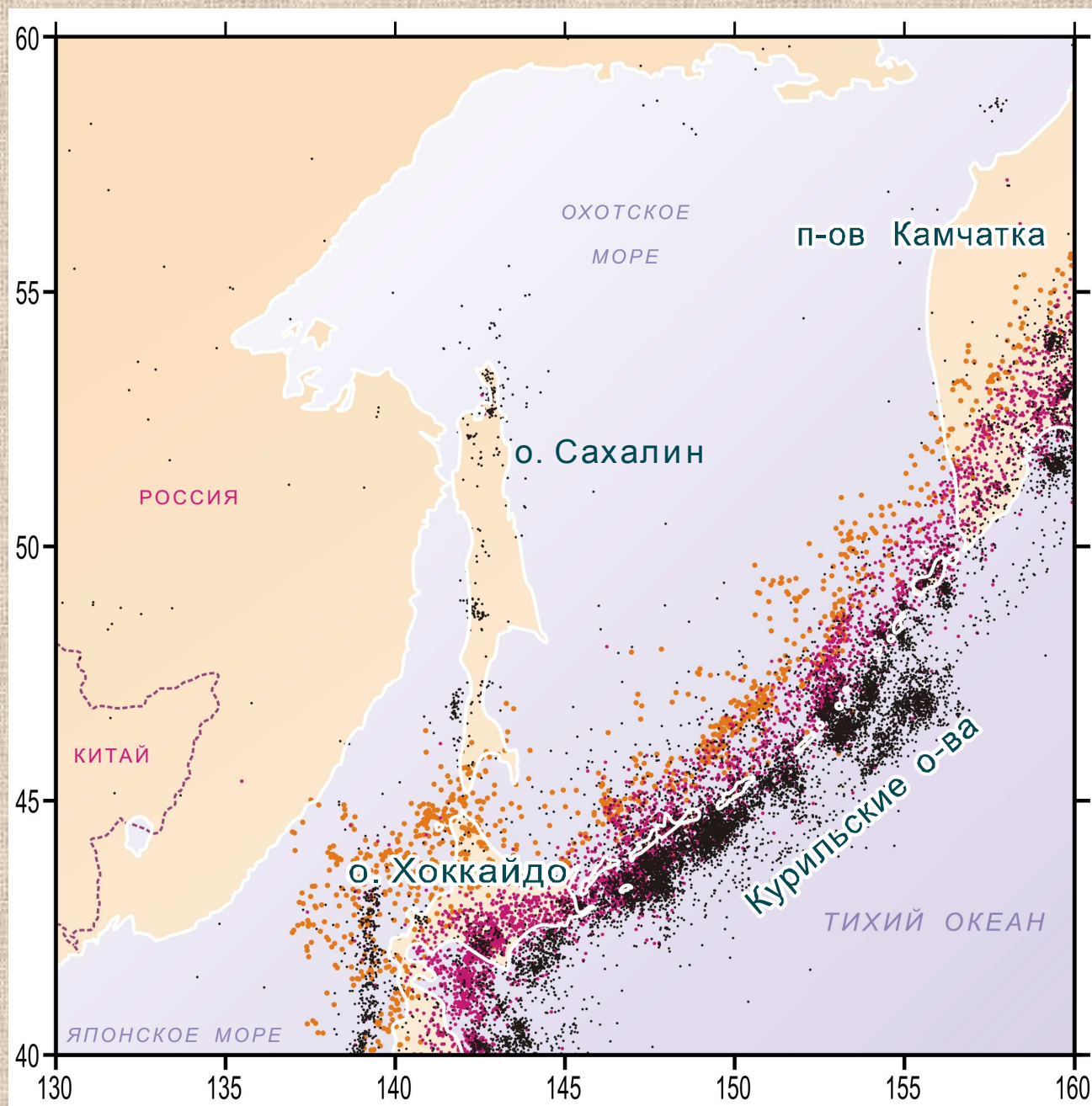
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



Остальные гипоцентры (до глубин 600-700 км) образуют сейсмофокальную зону, соответствующую слэбу Тихоокеанской плиты, субдуцирующему в ЗСЗ (290°) направлении.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

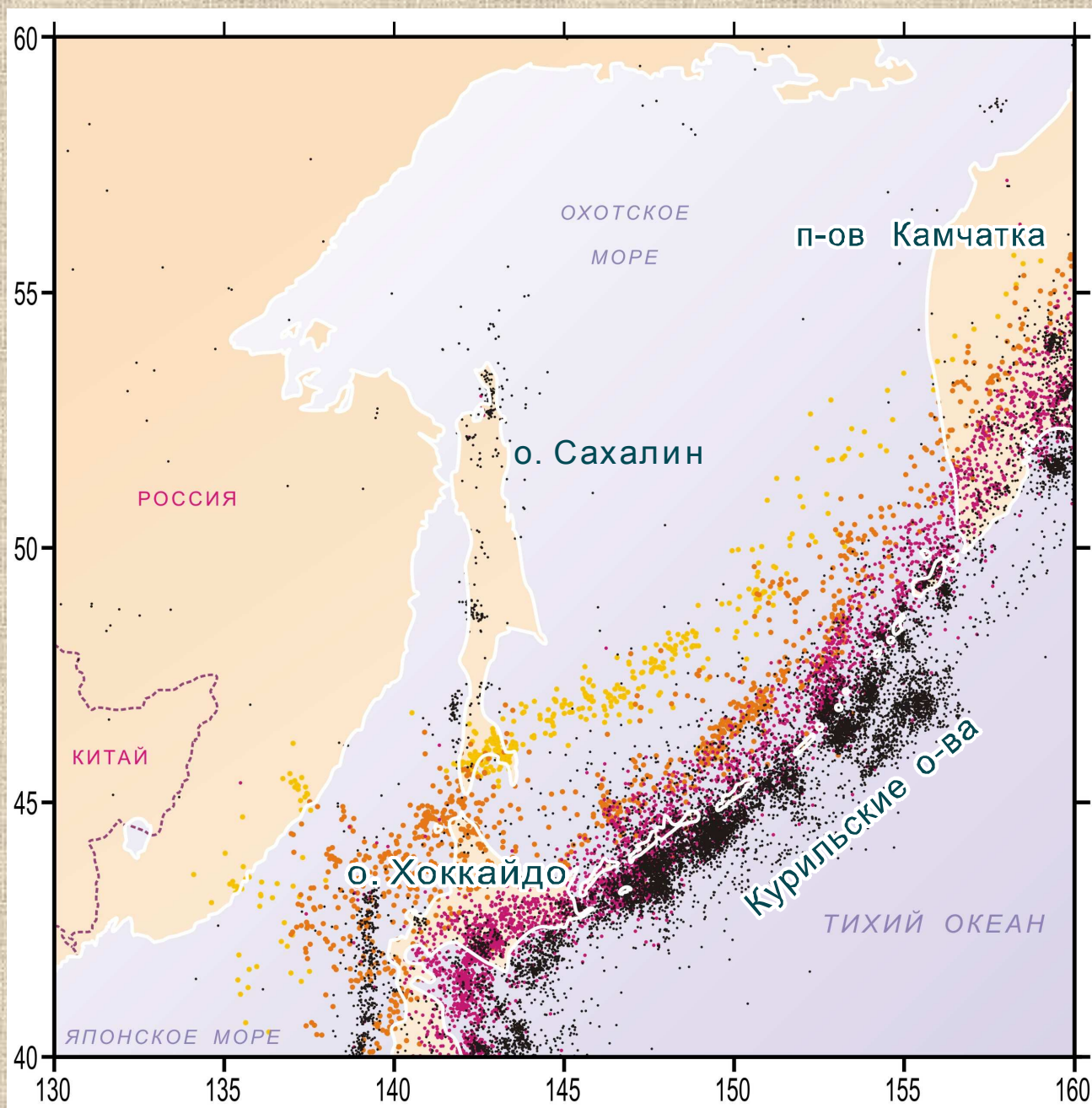
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



Остальные гипоцентры (до глубин 600-700 км) образуют сейсмофокальную зону, соответствующую слэбу Тихоокеанской плиты, субдуцирующему в ЗСЗ (290°) направлении.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

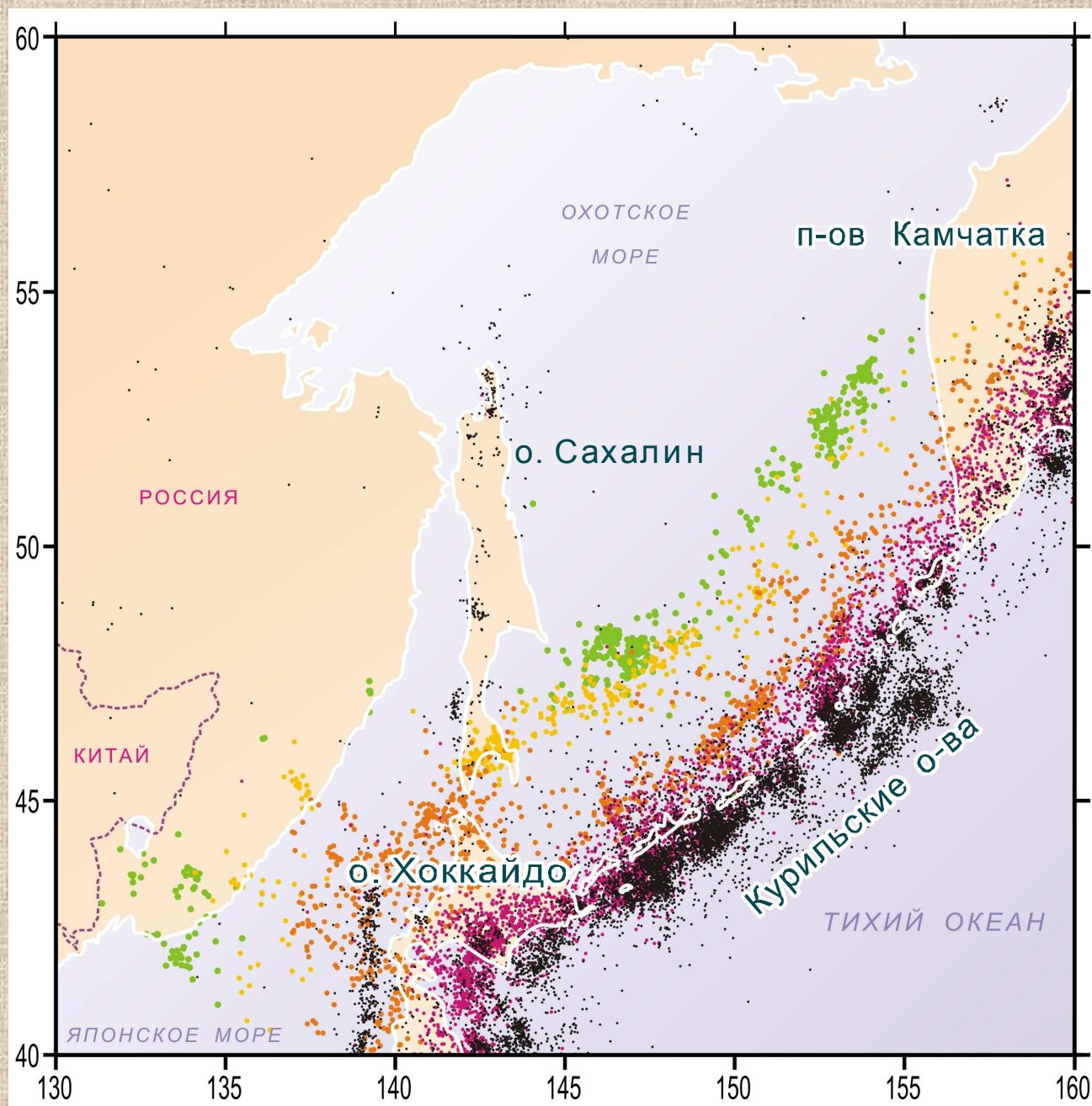
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



Остальные гипоцентры (до глубин 600-700 км) образуют сейсмофокальную зону, соответствующую слэбу Тихоокеанской плиты, субдуцирующему в ЗСЗ (290°) направлении.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

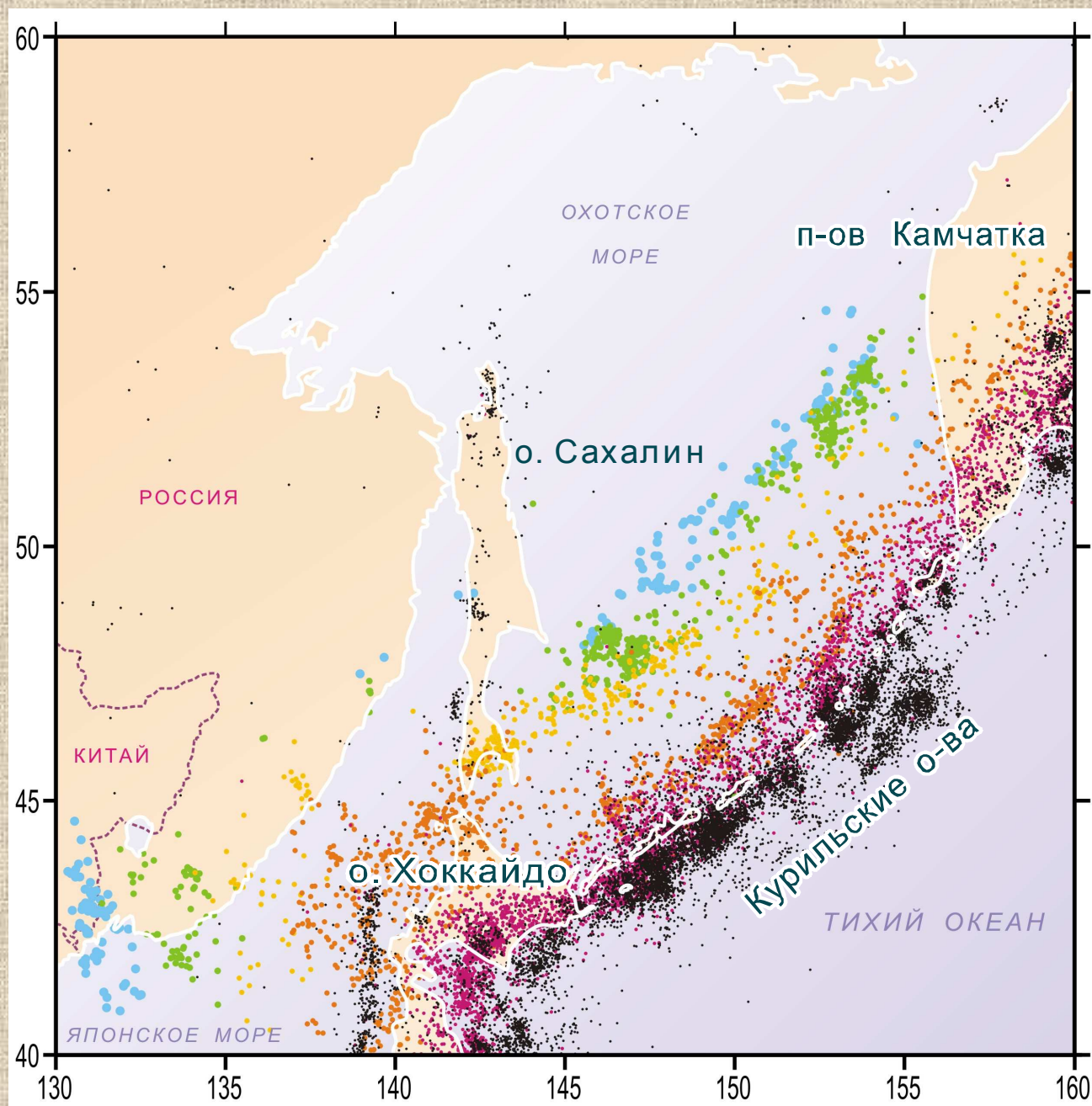
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



Остальные гипоцентры (до глубин 600-700 км) образуют сейсмофокальную зону, соответствующую слэбу Тихоокеанской плиты, субдуцирующему в ЗСЗ (290°) направлении.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)

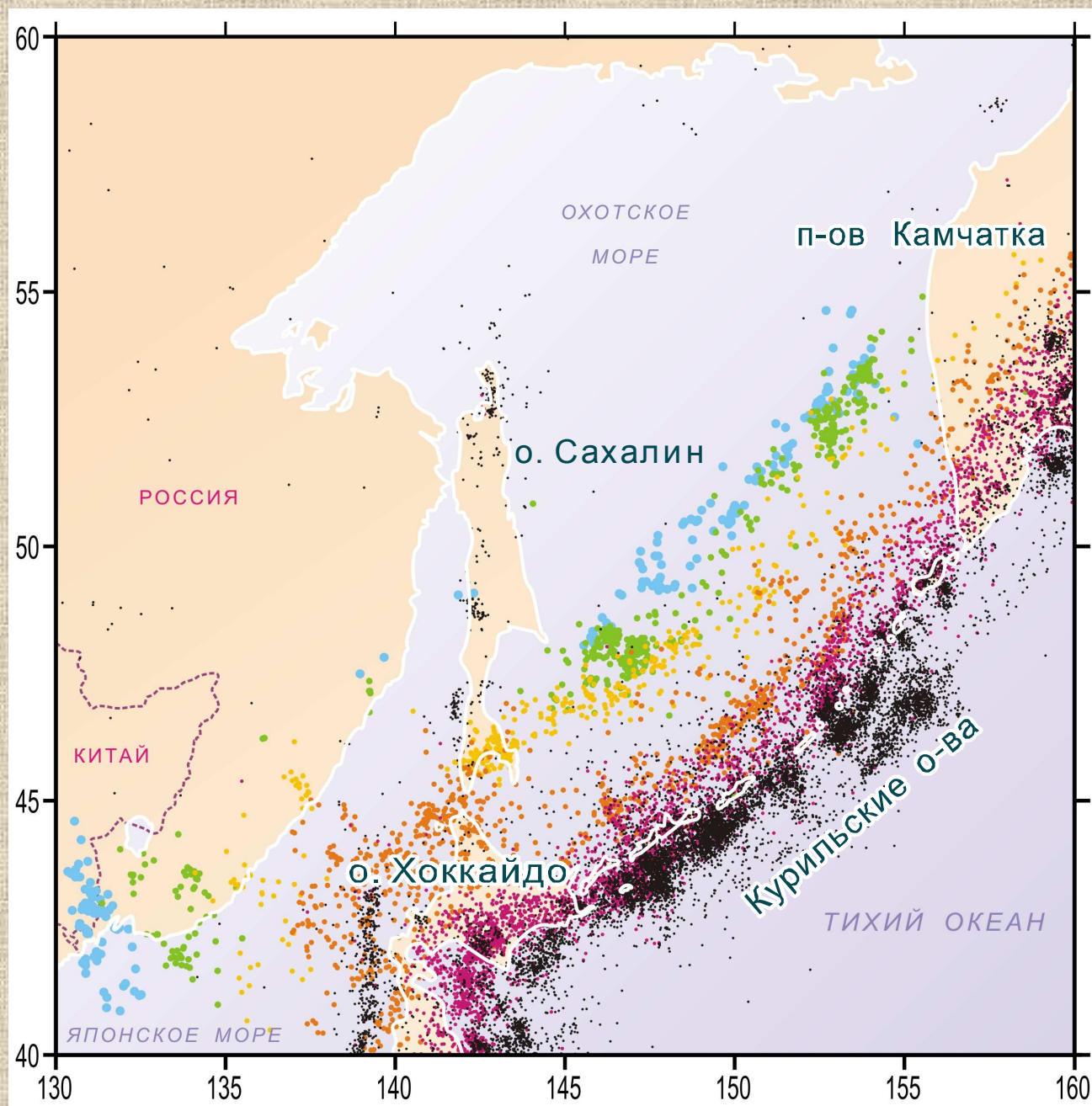


N = 17 616

Остальные гипоцентры (до глубин 600-700 км) образуют сейсмофокальную зону, соответствующую слэбу Тихоокеанской плиты, субдуцирующему в ЗСЗ (290°) направлении.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)

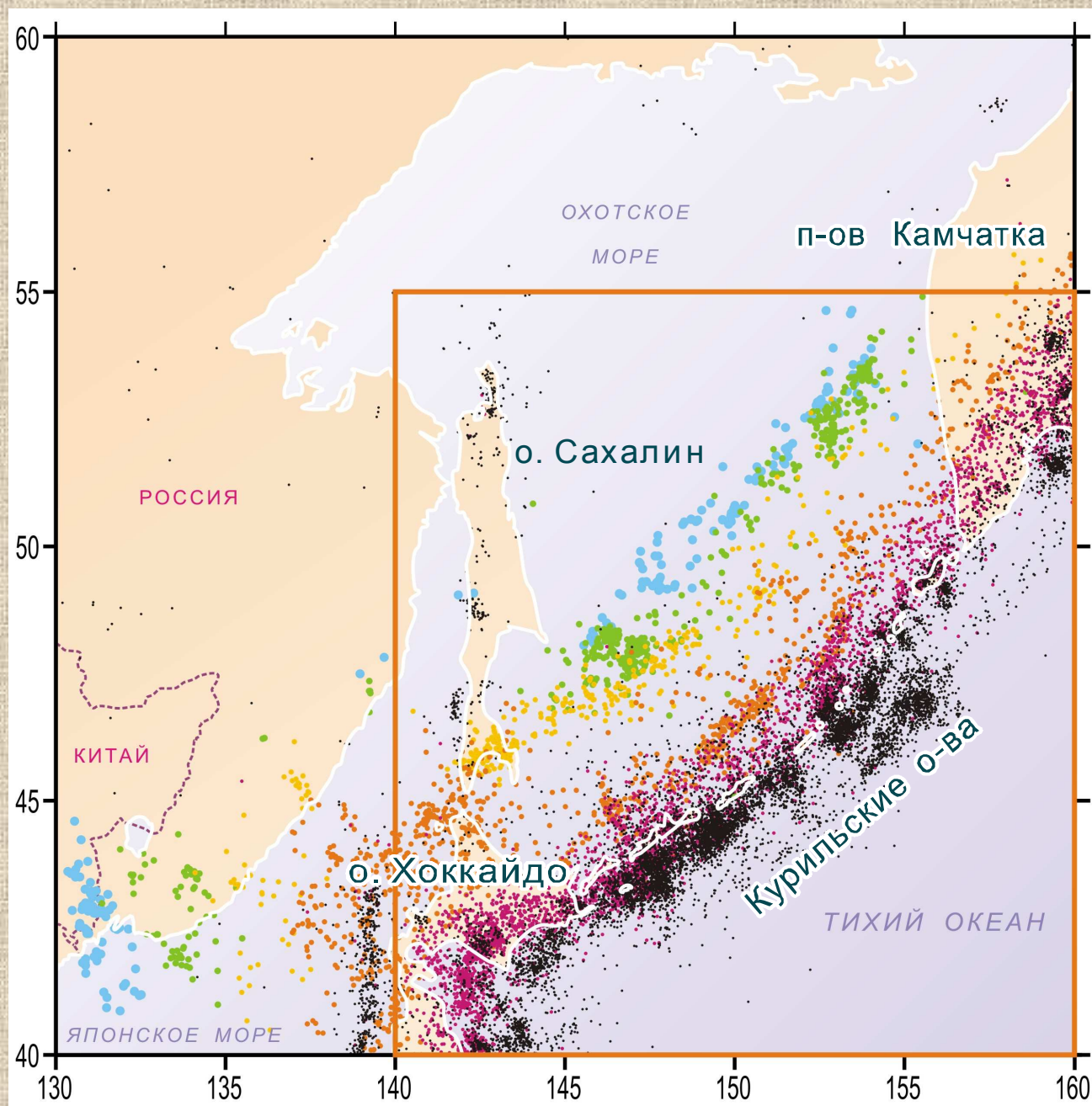


N = 17 616

Сейсмофокальная зона имеет листрическую форму с простираием СВ 55° в районе о. Хоккайдо и СВ 40° у южного побережья п-ова Камчатка при среднем угле погружения 45° на ЗСЗ.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОХОТОМОРСКОМ РЕГИОНЕ 1973-2010 гг. (по данным USGS)



N = 17 616

Представления о современных полях напряжений основаны на базе данных фокальных механизмов землетрясений Охотоморского региона 40-55° с.ш. и 140-160° в.д. с магнитудой 4.8-7.3 баллов, зарегистрированных в каталоге геологической службы США (<http://neic.usgs.gov>) с 1977 по 2010 гг., что составляет не более 12% от общего количества сейсмических событий.

глубины очагов землетрясений (км)	количество очагов
• 0-49	10 928
• 50-149	4 633
• 150-299	1 042
• 300-399	414
• 400-499	402
• 500-700	197

Цель: оценка современной геодинамической обстановки и выявление структур, по которым реализуются напряжения в пределах сейсмофокальной зоны Охотоморского региона (зоне субдукции Тихоокеанской плиты)

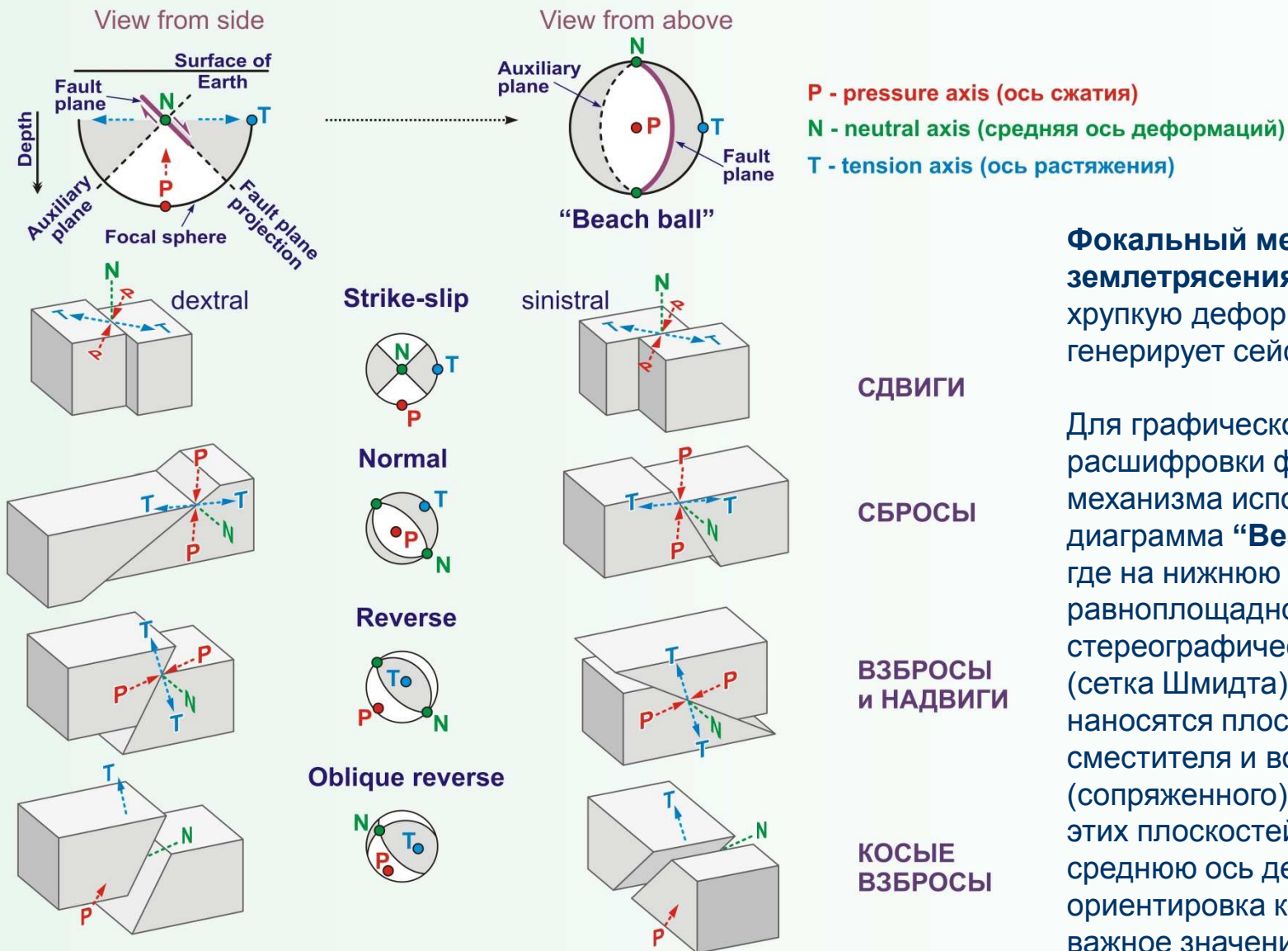
Всего в сейсмофокальной зоне (глубина 50-700 км) проанализировано 668 расшифровок фокальных механизмов землетрясений.

Их важными результатами являются:

- ориентировки главных нодальных плоскостей разрывов с направлением (типом) смещений,
- пространственные положения осей сжатия, растяжения и средней оси деформаций в очаге землетрясения.

Именно эти параметры были использованы для выявления геодинамических особенностей сейсмофокальной зоны Охотоморского региона (зоны субдукции Тихоокеанской плиты).

Schematic diagram of focal mechanism



Фокальный механизм

землетрясения описывает хрупкую деформацию, которая генерирует сейсмические волны.

СДВИГИ

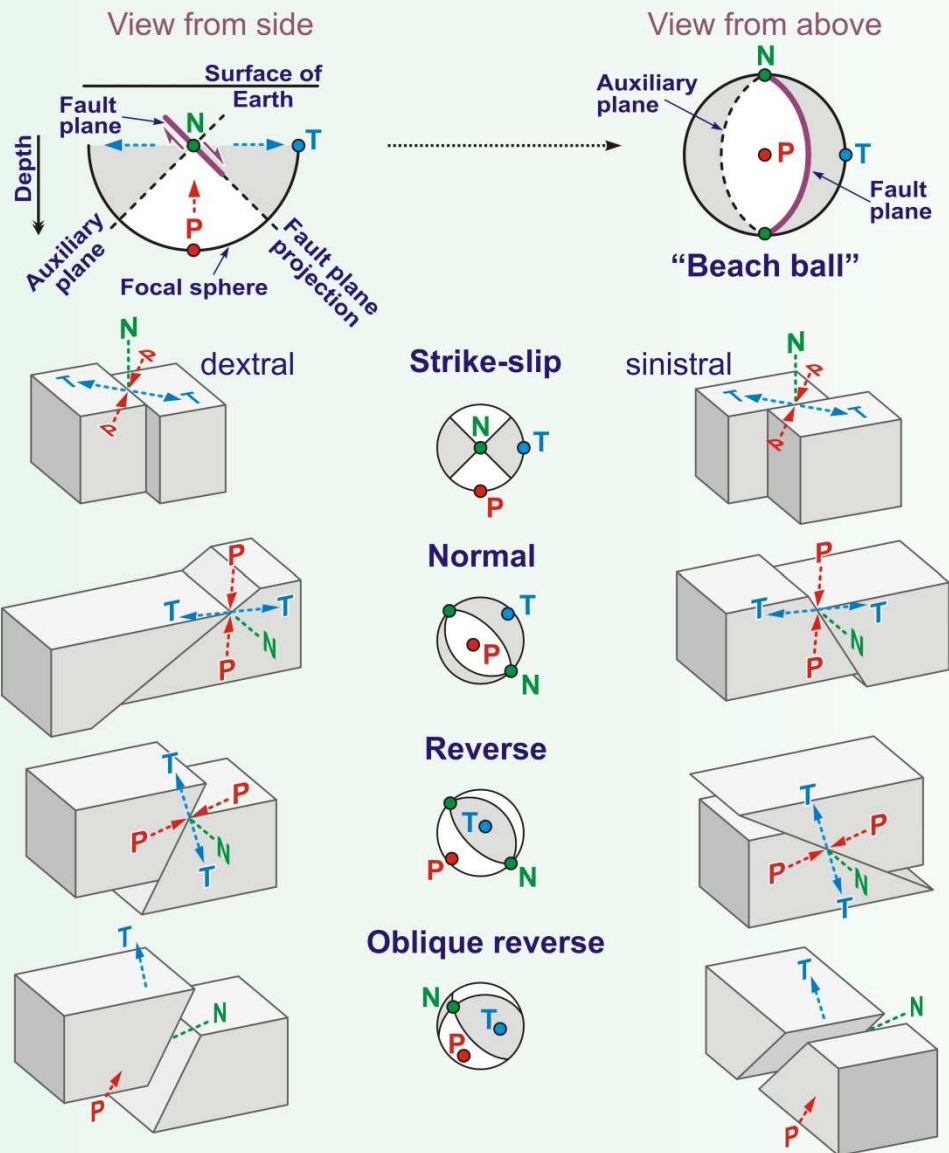
СБРОСЫ

ВЗБРОСЫ
и НАДВИГИ

КОСЫЕ
ВЗБРОСЫ

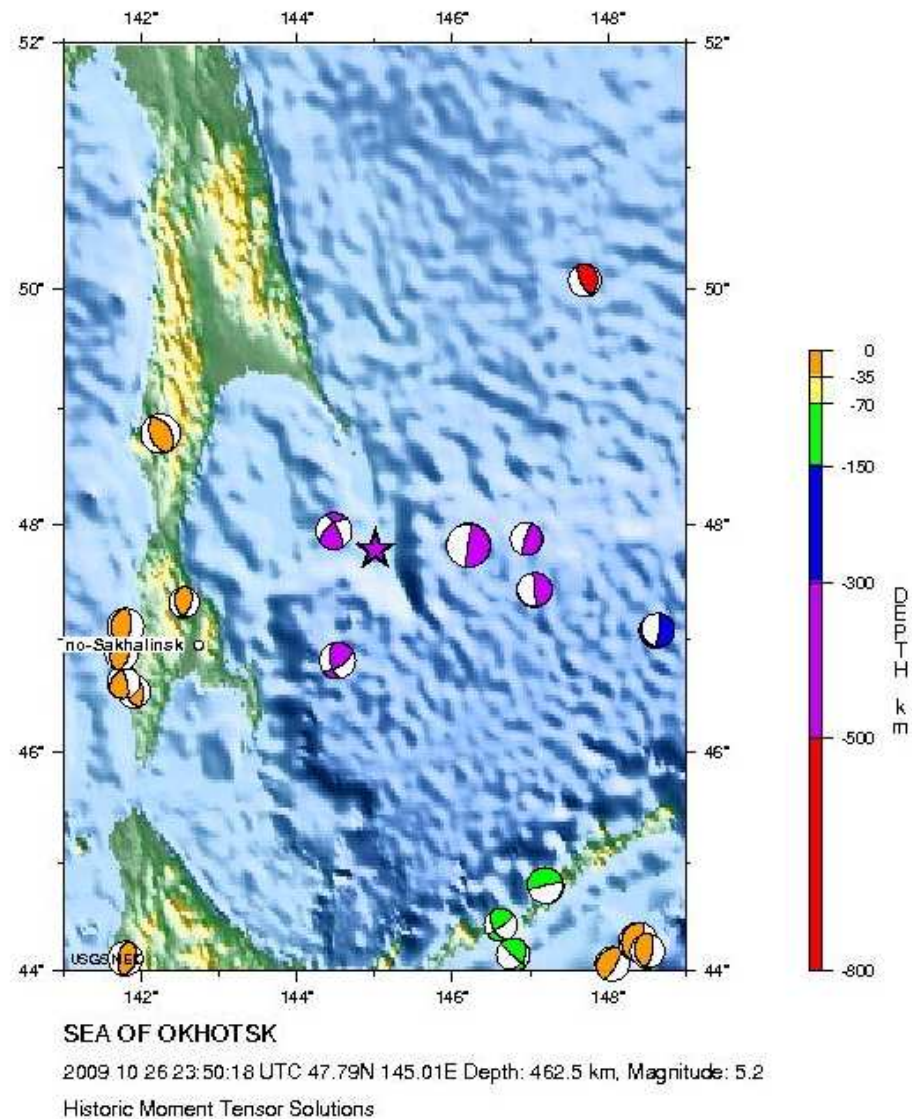
Для графического представления расшифровки фокального механизма используется диаграмма "Beach ball", где на нижнюю полусферу равноплощадной стереографической проекции (сетка Шмидта) в виде дуг наносятся плоскость главного сместителя и вспомогательного (сопряженного). Пересечение этих плоскостей образует среднюю ось деформаций (N), ориентировка которой имеет важное значение для анализа геодинамической обстановки.

Schematic diagram of focal mechanism

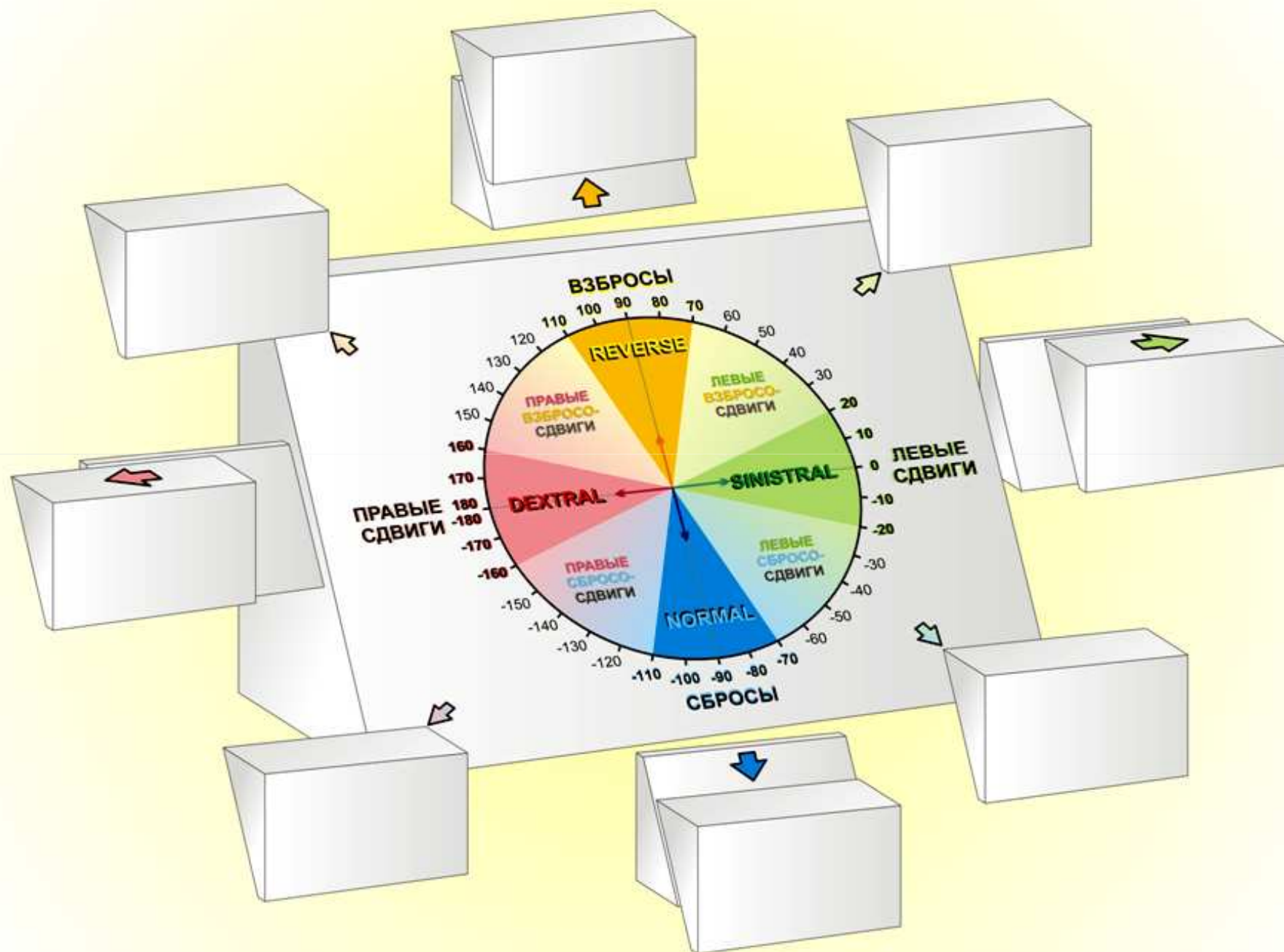


From USGS, 1996 (с дополнениями)

Пример представления данных фокальных механизмов землетрясений Охотоморского региона
<http://earthquake.usgs.gov>



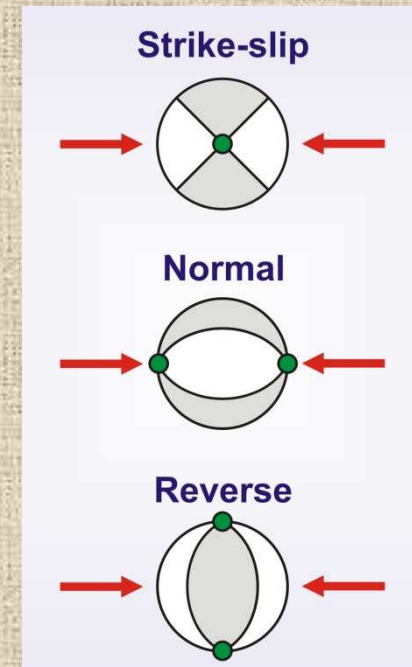
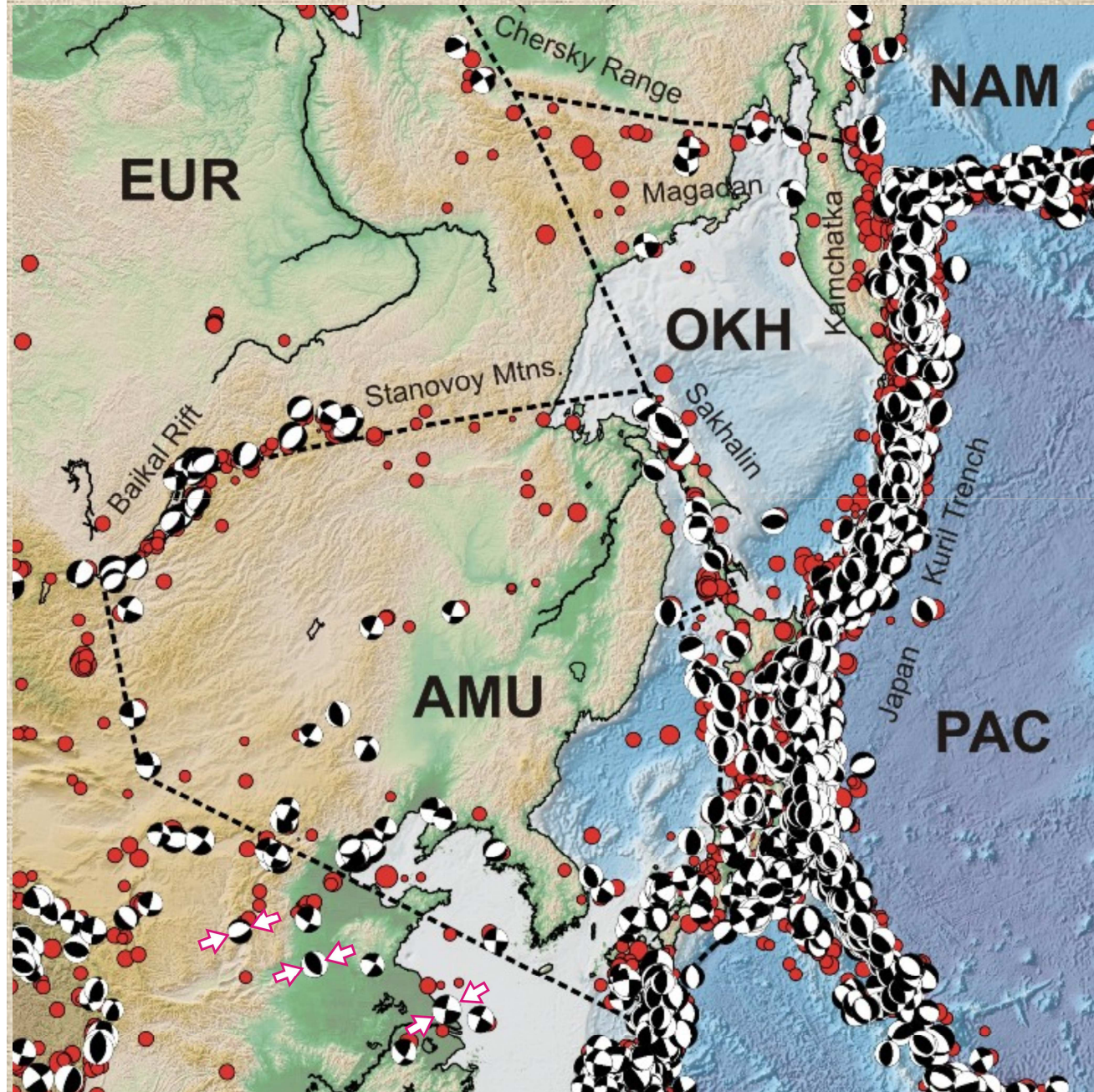
Направление смещения в плоскости разрыва (rake of slip)



Seismicity of northeast Asia

Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling
Apel, E. V., R. Burgmann, G. Steblov, N. Vasilenko, R. King, and A. Prytkov (2006),

Основные формы
фокального механизма
при горизонтальном сжатии
и ориентировки
средней оси деформаций



Hypocenters (solid red circles) are sized by magnitude and plotted to a depth of 35 km from the Engdahl et al. [1998] catalog. Focal mechanisms are from Harvard CMT catalog (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>). Plate boundaries (dashed lines) are from this study.

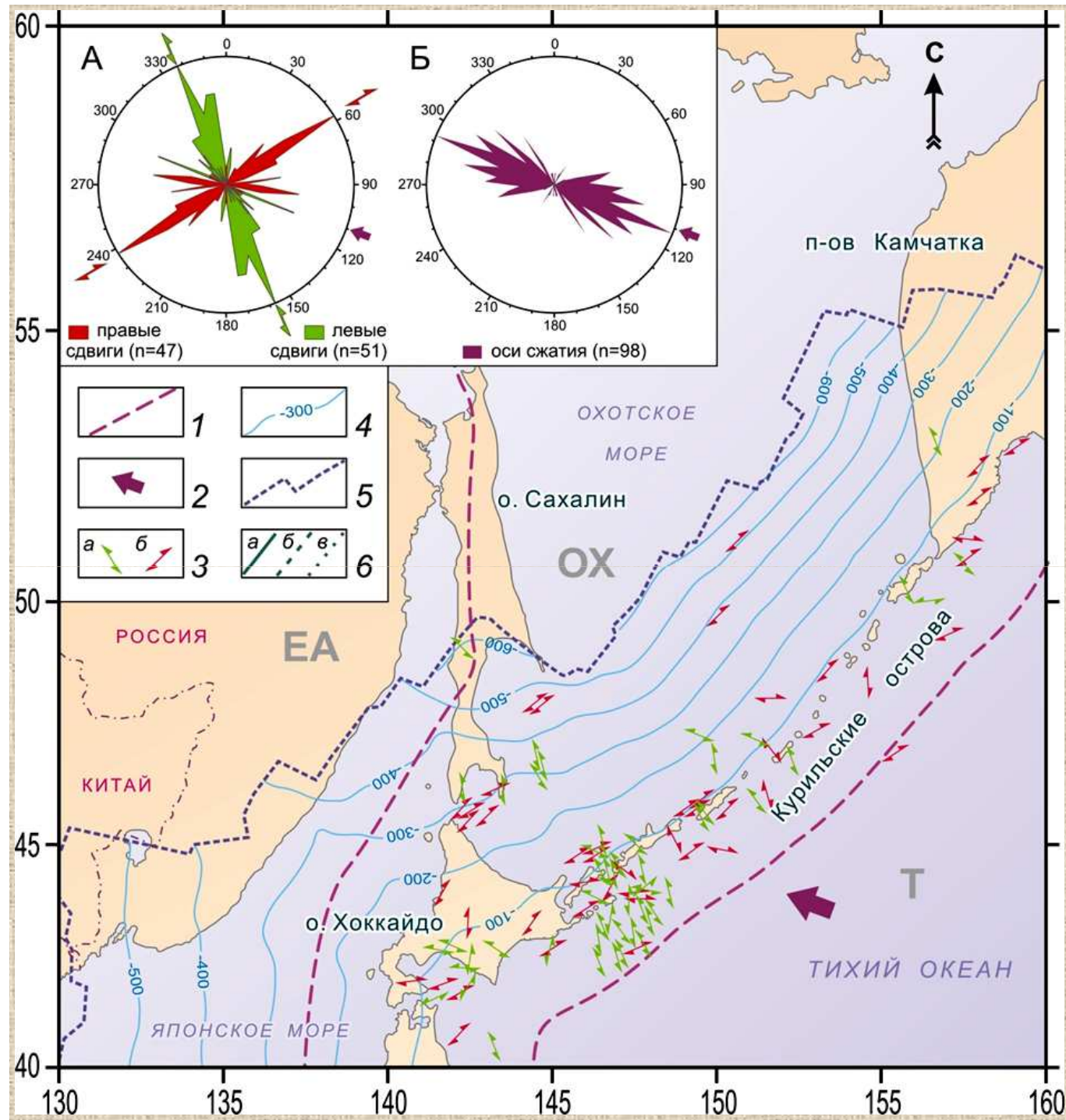
■ надвиги (n=133)
 ■ левые сдвиги (n=100)

■ сбросы (n=36)
 ■ правые сдвиги (n=83)

➔ направление движения Тихоокеанской плиты

N=352

Для оценки современной геодинамической обстановки особое внимание было уделено распределению очагов сдвигового типа – с крутонаклонным ($40-90^\circ$) погружением средней оси деформаций и близгоризонтальным ($0-30^\circ$) лево- и правосторонним смещением в плоскости разрыва.



Распределение очагов землетрясений (1977-2010 гг.) с доминантой сдвиговых смещений в пределах зоны субдукции Тихоокеанской плиты (40-55° с.ш, 140-160° в.д.) и соответствующие им розы-диаграммы простираний: левых и правых сдвигов (А) и осей сжатия (Б), (по данным USGS)

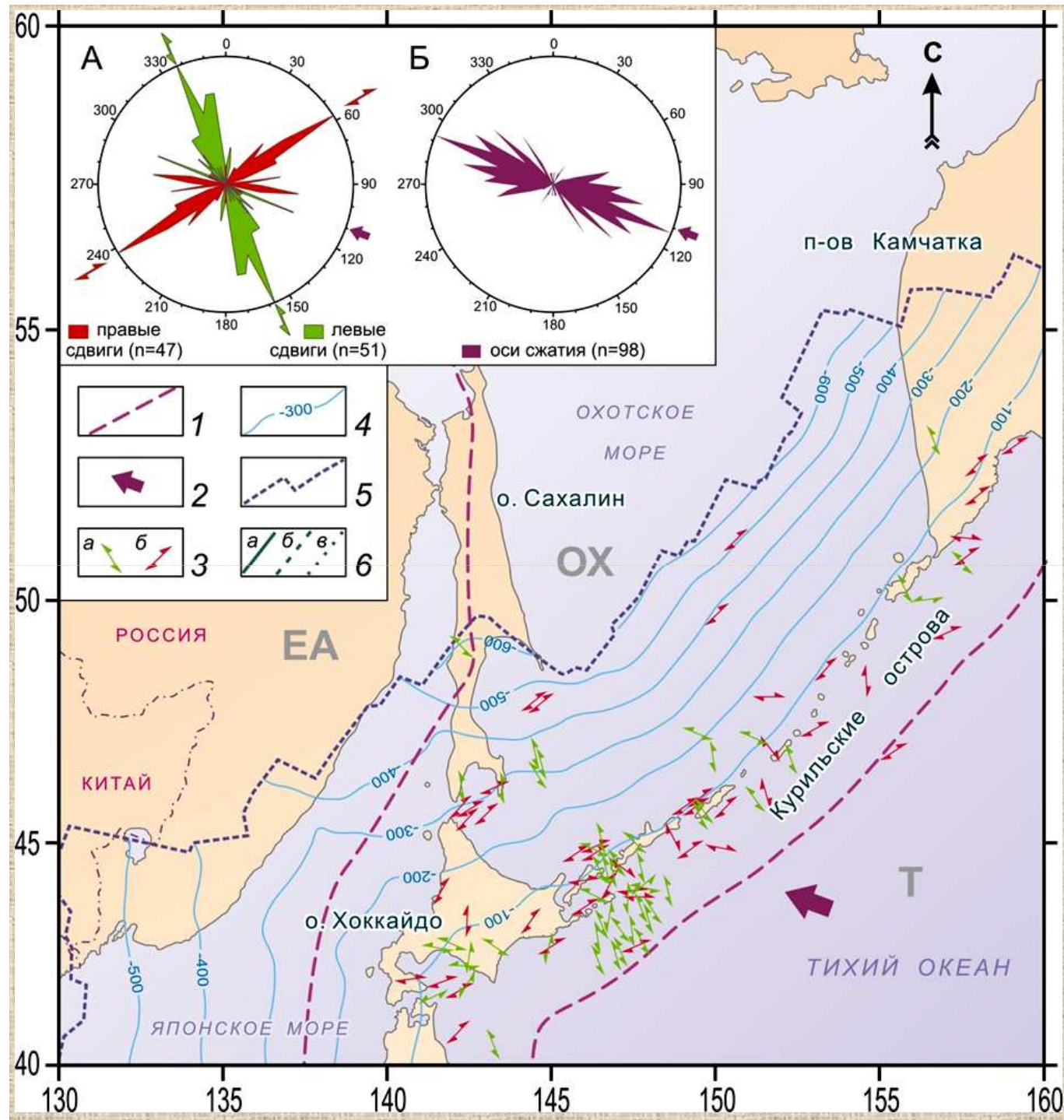
1 - границы плит: Евразийской (ЕА), Охотской (ОХ) и Тихоокеанской (Т);

2 - направление движения Тихоокеанской плиты;

3 - левые (а) и правые (б) сдвиги;

4-5 - зона субдукции: изолинии кровли (4), цифры - глубина (км) и ее нижняя граница (5);

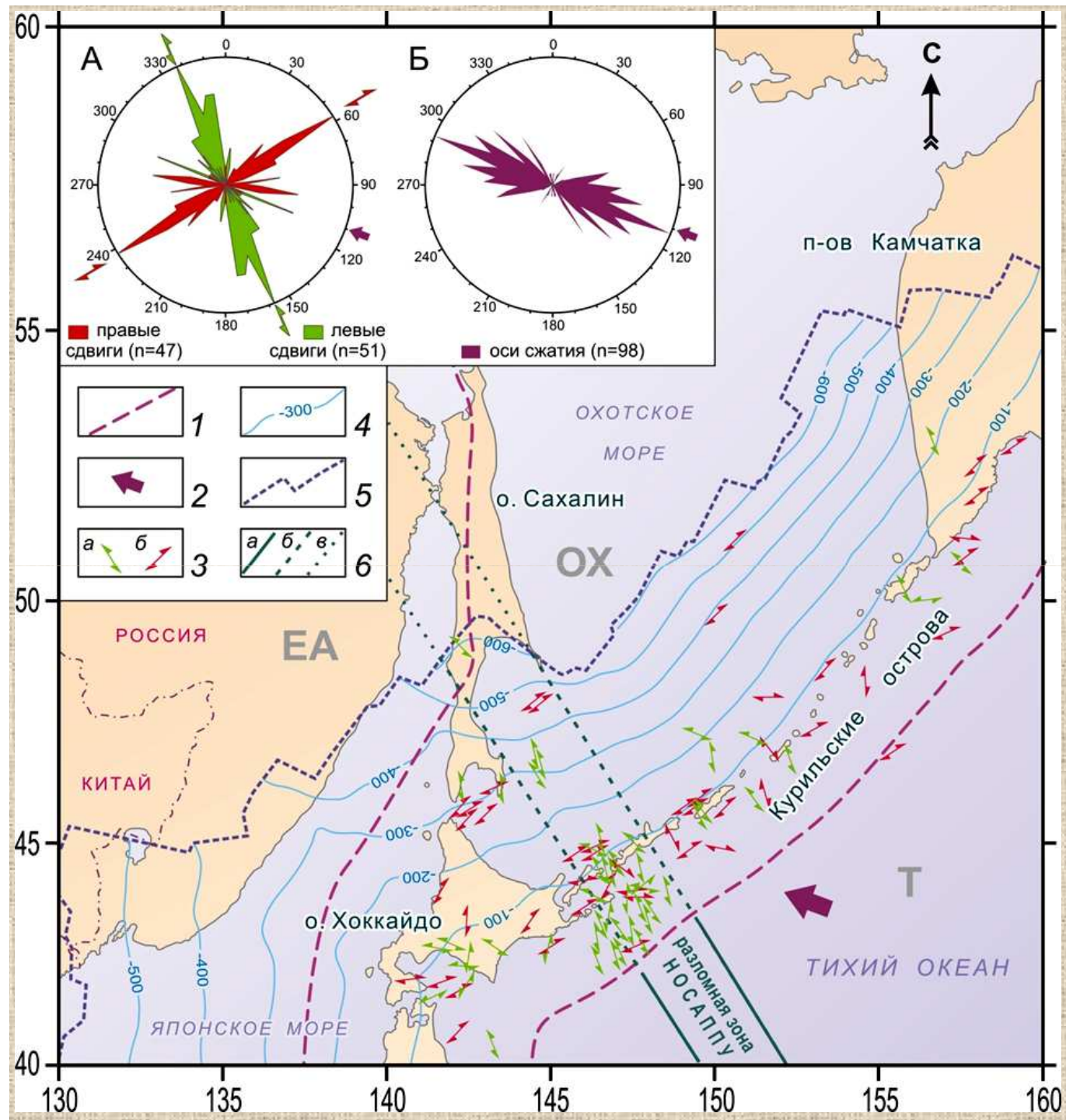
6 - сместители разломной зоны Носаппу: на поверхности плиты (а) и предполагаемые в зоне субдукции (б) и стагнации (в).



Правые сдвиги распространены преимущественно на глубинах до 200 км, протягиваясь в СВ направлении вдоль Курильских островов.

Левые сдвиги концентрируются, главным образом, в южной части Курильских островов, прослеживаясь в ССЗ направлении по зоне субдукции до глубины 680 км.

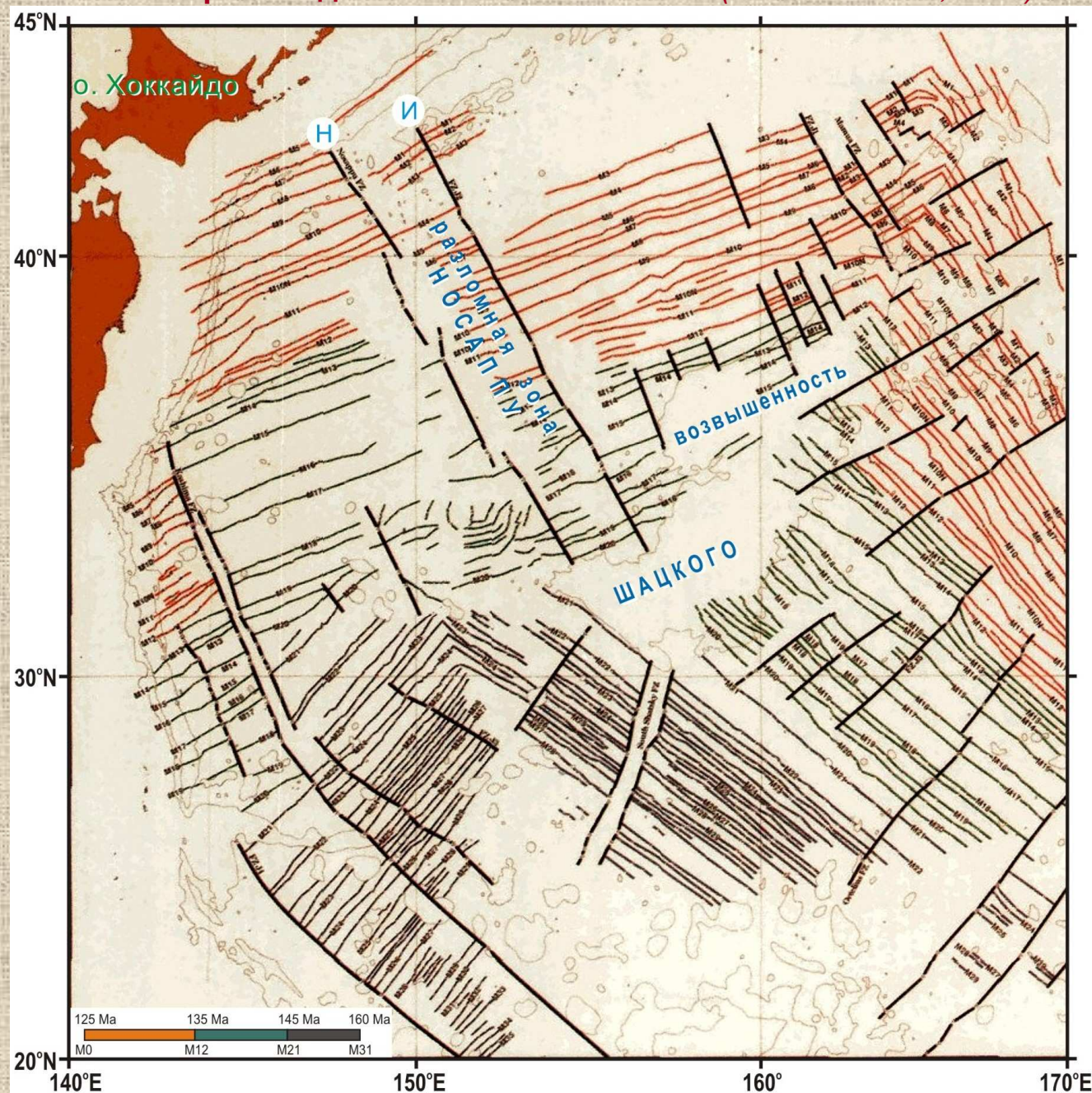
Совокупность простираний левых (ССЗ 330-340°) и правых (СВ 50-60°) сдвигов можно рассматривать как сопряженную систему (А), поскольку оси сжатия этих сместителей (Б) ориентированы преимущественно на ЗСЗ (290°), что согласуется с генеральным направлением движения Тихоокеанской плиты.



Проявление правых сдвигов СВ простираения, вероятно связано с правосторонними проскальзываниями погружающегося в ЗСЗ направления слэба вдоль Курильского желоба до глубины 200 км и на глубинах более 400 км.

Аномальное проявление левых сдвигов в южной части Курильских островов обусловлено наложением на зону субдукции разломной зоны Носаппу.

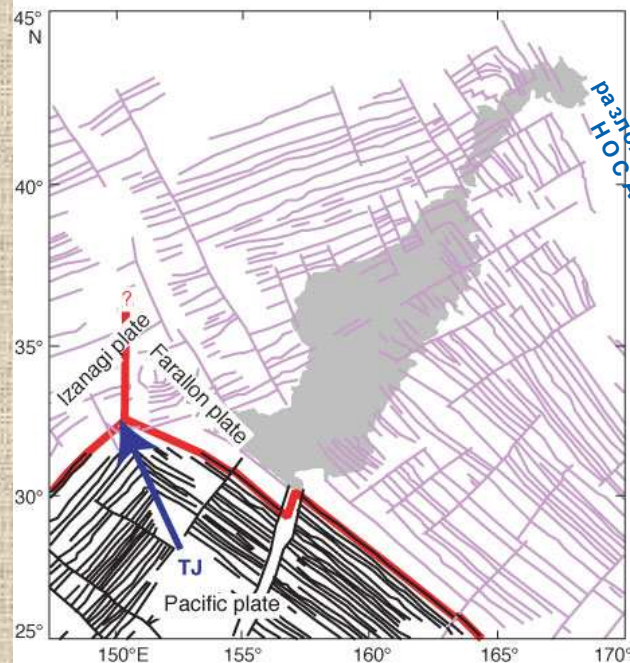
**Карта мезозойских магнитных аномалий и разломных зон
в северо-западной части Тихого океана (Nakanishi et al., 1989)**



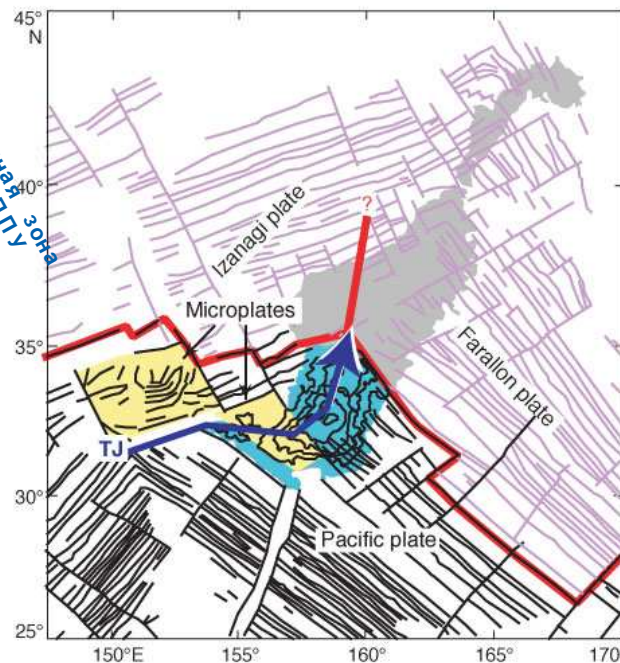
Разломная зона Носаппу
простирается в СЗ
направлении более чем
на 1000 км –
от западной окраины
возвышенности Шатского до
Курильского желоба.

Она состоит из двух
сместителей :
Носаппу (Н) и Итуруп (И)

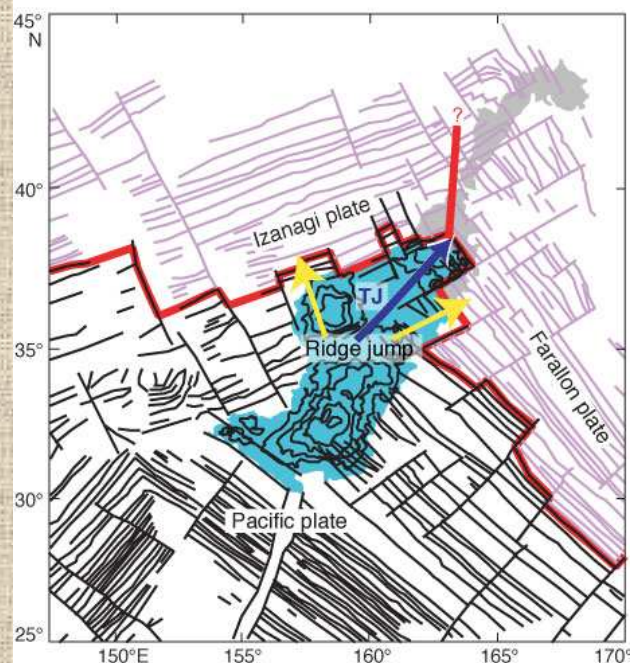
M22 time (151 Ma) Tithonian



M17 time (144 Ma) Jurassic/Cretaceous boundary



M13 time (139 Ma) Valanginian



M5 time (131 Ma) Barremian

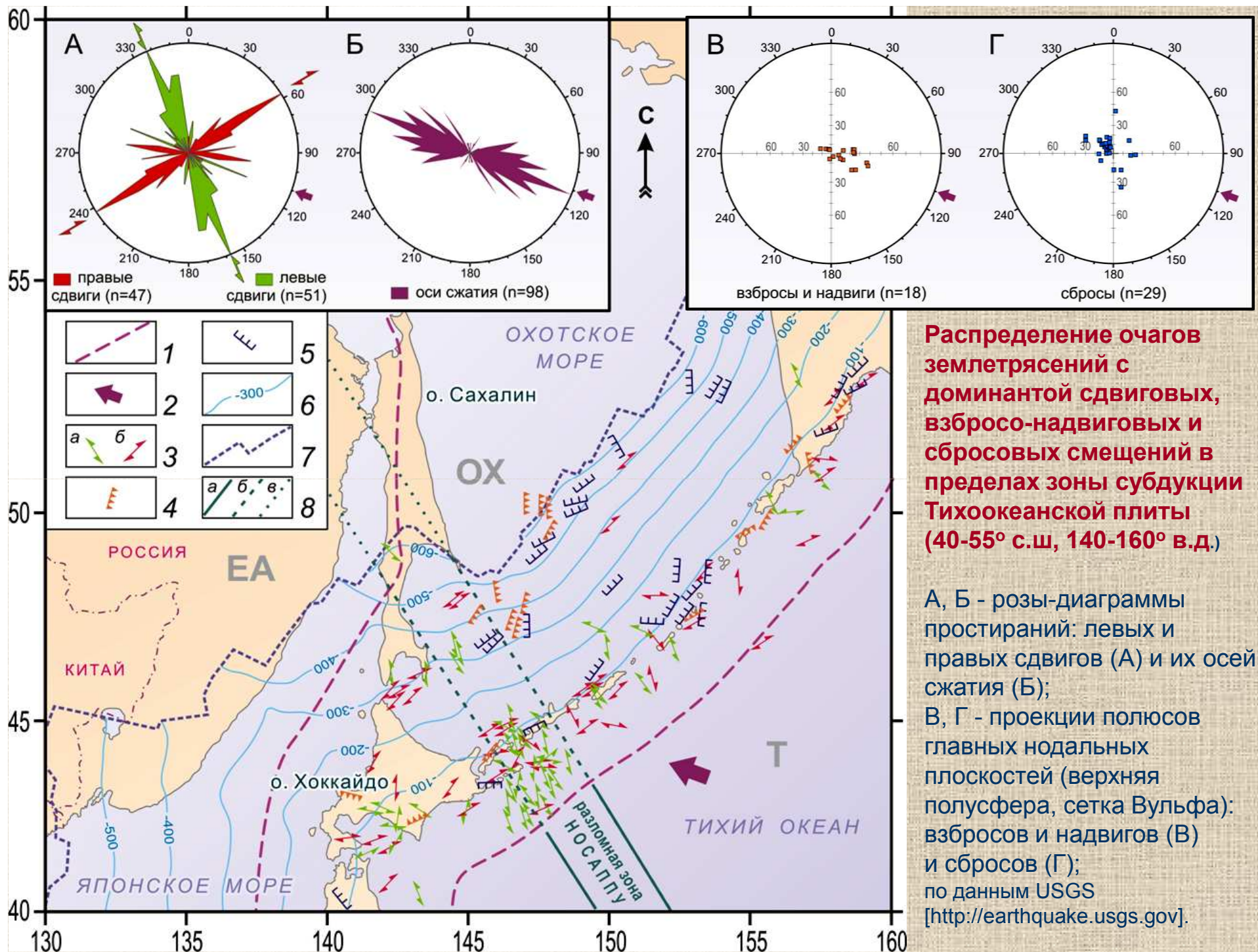


Изначально зона Носаппу сформировалась как трансформный разлом типа хребет-хребет между плитой Изагаги и Тихоокеанской плитой в период поздней юры и раннего мела.

Согласно данным палеомагнитных исследований, суммарная амплитуда левостороннего смещения составляет около 150 км (Ogawa et al., 2003).

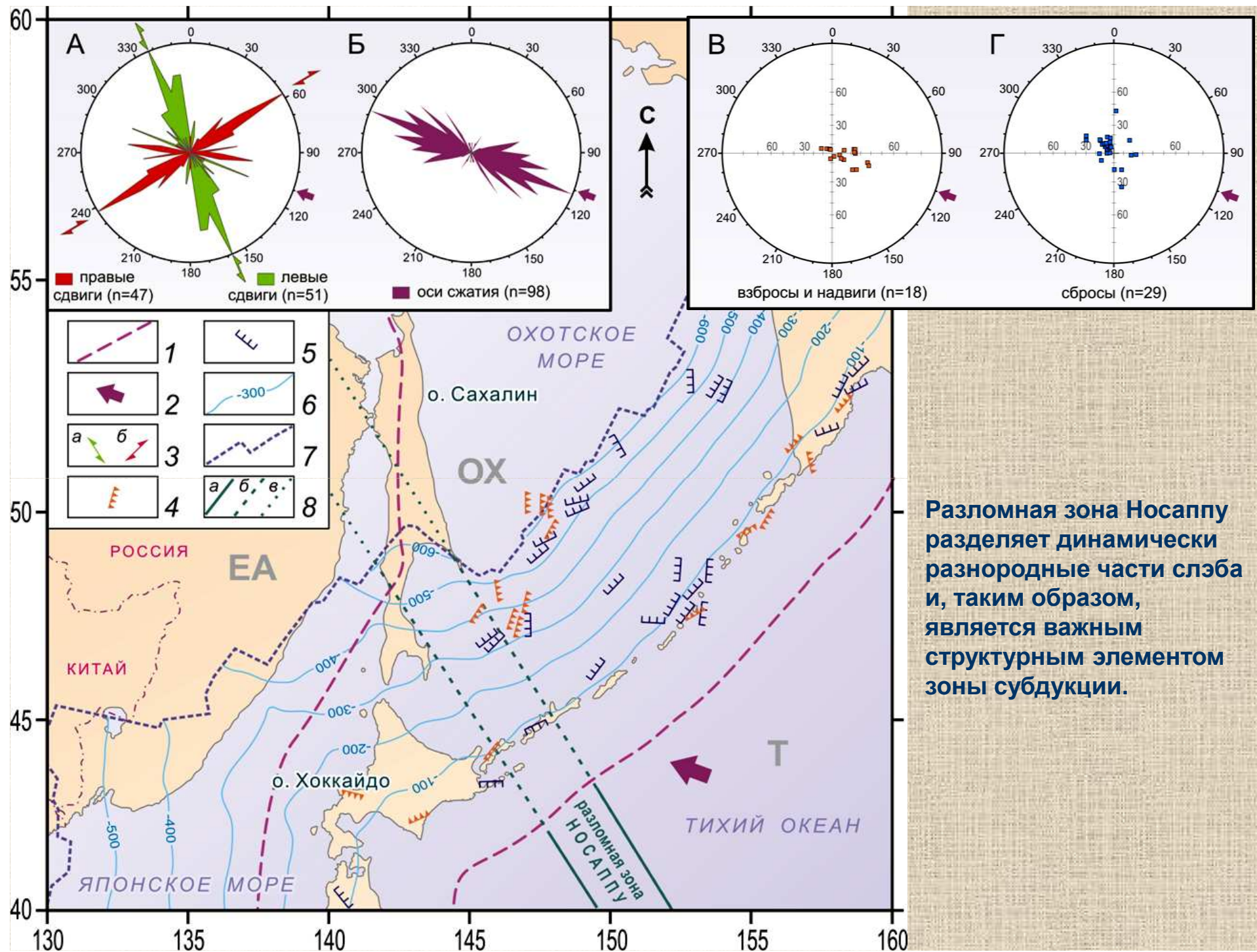
Tectonic history of Shatsky Rise, illustrating the migration of ridges and triple junctions (TJ) during formation of the rise. Dark magnetic lineations existed on the Pacific plate at the time given for each panel. Red lines = ridges, light purple lines = future isochrons, blue arrows = path of triple junction, yellow arrows = jumps and changes in direction (modified from Nakanishi et al., 1999).

http://publications.iodp.org/proceedings/324/101/101_f4.htm
IODP Expedition 324, 2009

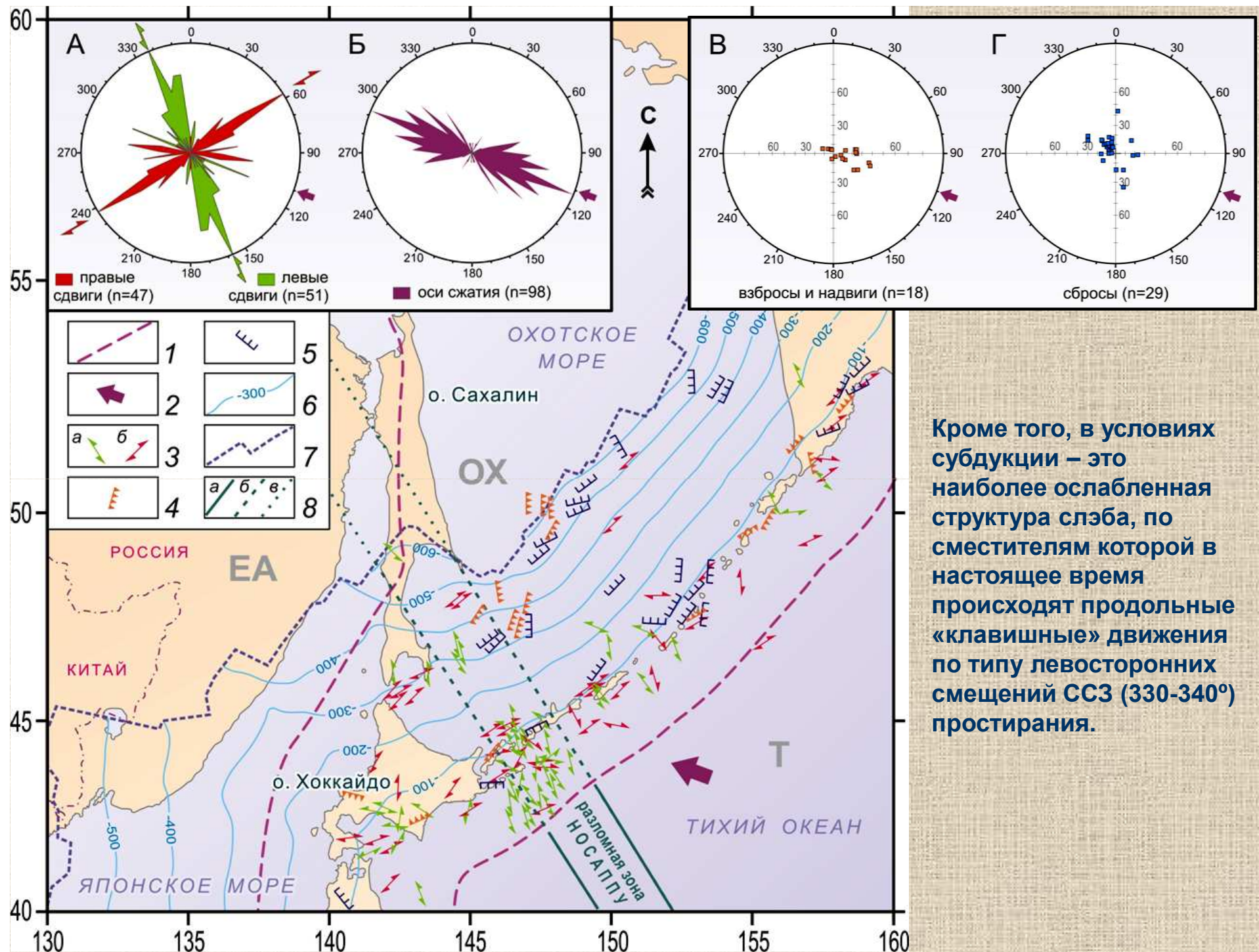


Распределение очагов землетрясений с доминантой сдвиговых, взбросо-надвиговых и сбросовых смещений в пределах зоны субдукции Тихоокеанской плиты (40-55° с.ш, 140-160° в.д.)

А, Б - розы-диаграммы простираций: левых и правых сдвигов (А) и их осей сжатия (Б);
 В, Г - проекции полюсов главных нодальных плоскостей (верхняя полусфера, сетка Вульфа): взбросов и надвигов (В) и сбросов (Г);
 по данным USGS
[\[http://earthquake.usgs.gov\]](http://earthquake.usgs.gov).

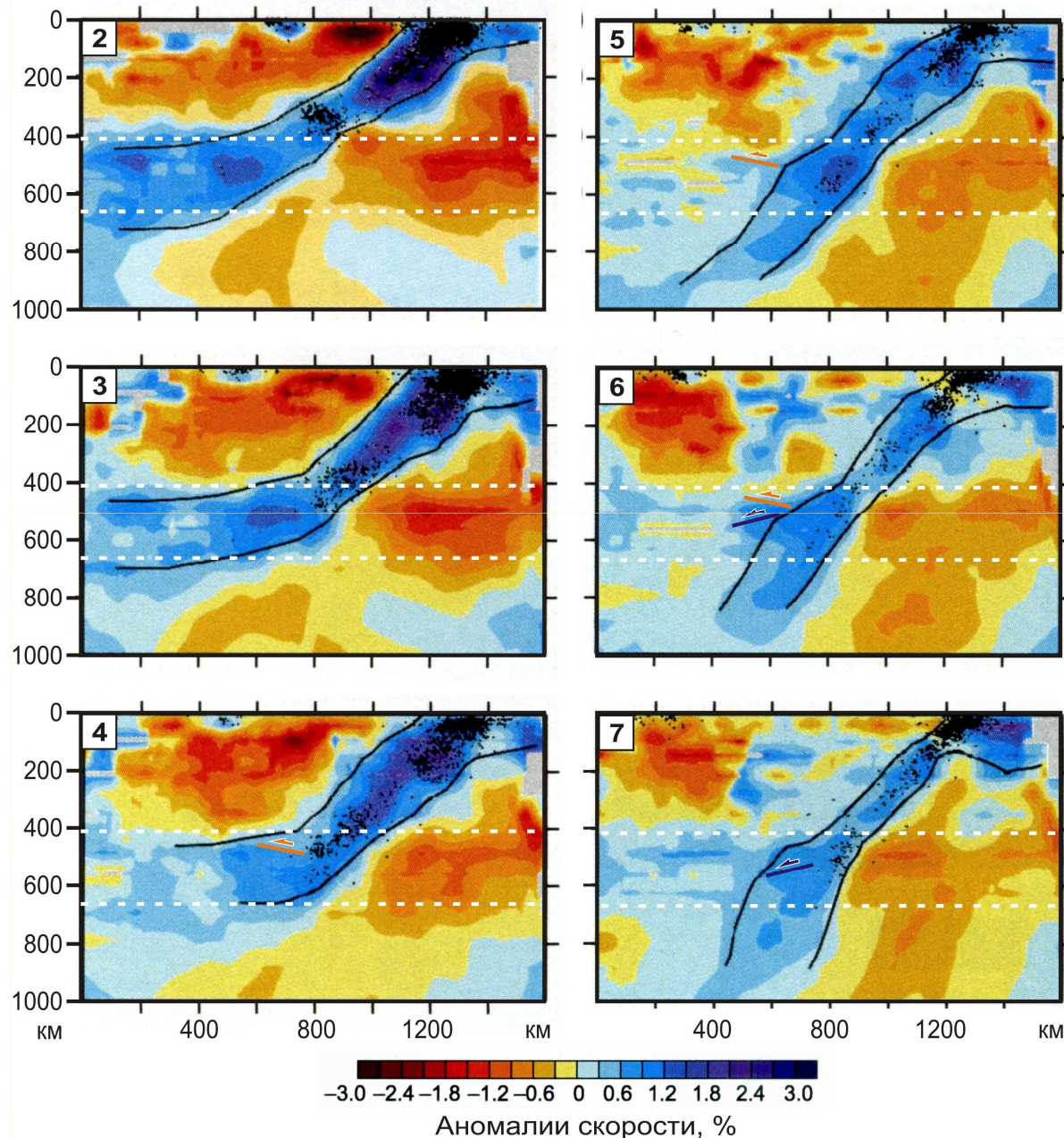


Разломная зона Носаппу разделяет динамически разнородные части слэба и, таким образом, является важным структурным элементом зоны субдукции.

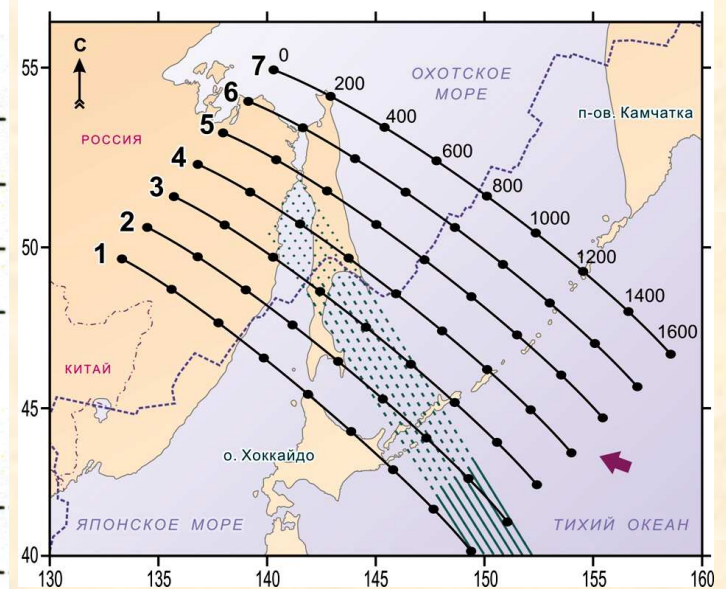


Кроме того, в условиях субдукции – это наиболее ослабленная структура слэба, по сместителям которой в настоящее время происходят продольные «клавишные» движения по типу левосторонних смещений ССЗ (330-340°) простираения.

Аномалии скоростей P -волн на вертикальных сечениях. (Кулаков и др., 2011, с изменениями и дополнениями)

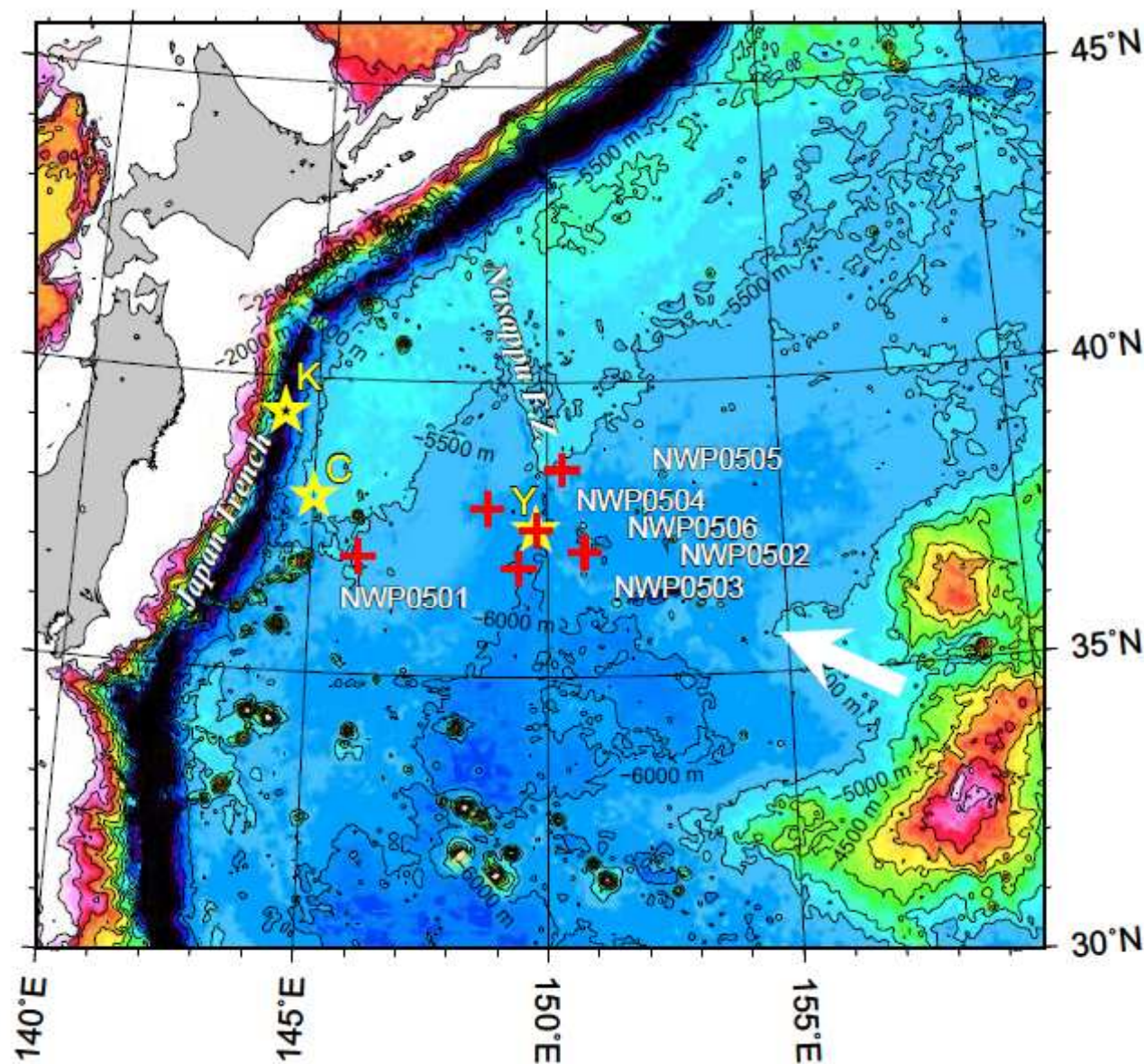


Положение сечений



Данные сейсмотомографии (Кулаков и др. 2011) показывают, что разломная зона Носаппу разделяет различные по форме части слэба в зоне стагнации. При этом, хрупкие деформации в СВ части распространяются за границу кровли слэба.

Линиями показаны верхняя и нижняя часть границы слэба. Точки – гипоцентры землетрясений в пределах полосы не более 50 км от профиля. Пунктирные линии – границы зоны стагнации.

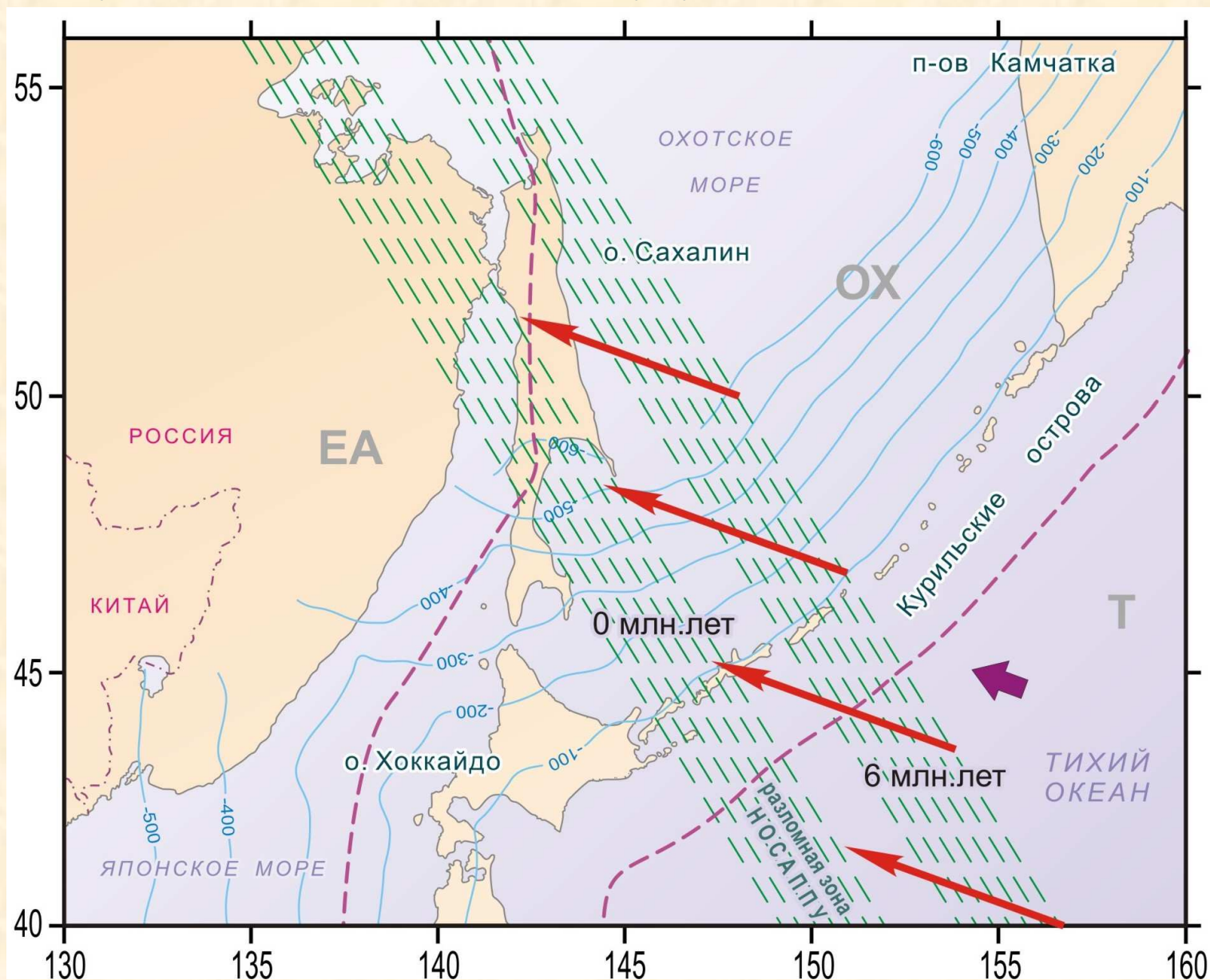


В 600 км юго-восточнее Курильского желоба к сместителям зоны Носаппу приурочены небольшие эшелонированные вулканические постройки (petit-spot) высокощелочных базальтов [Hirano et al., 2006; Fujiwara et al., 2006 и др.] с датировками возраста от 4.23 ± 0.19 до 8.53 ± 0.18 млн. лет [Hirano et al., 2006].

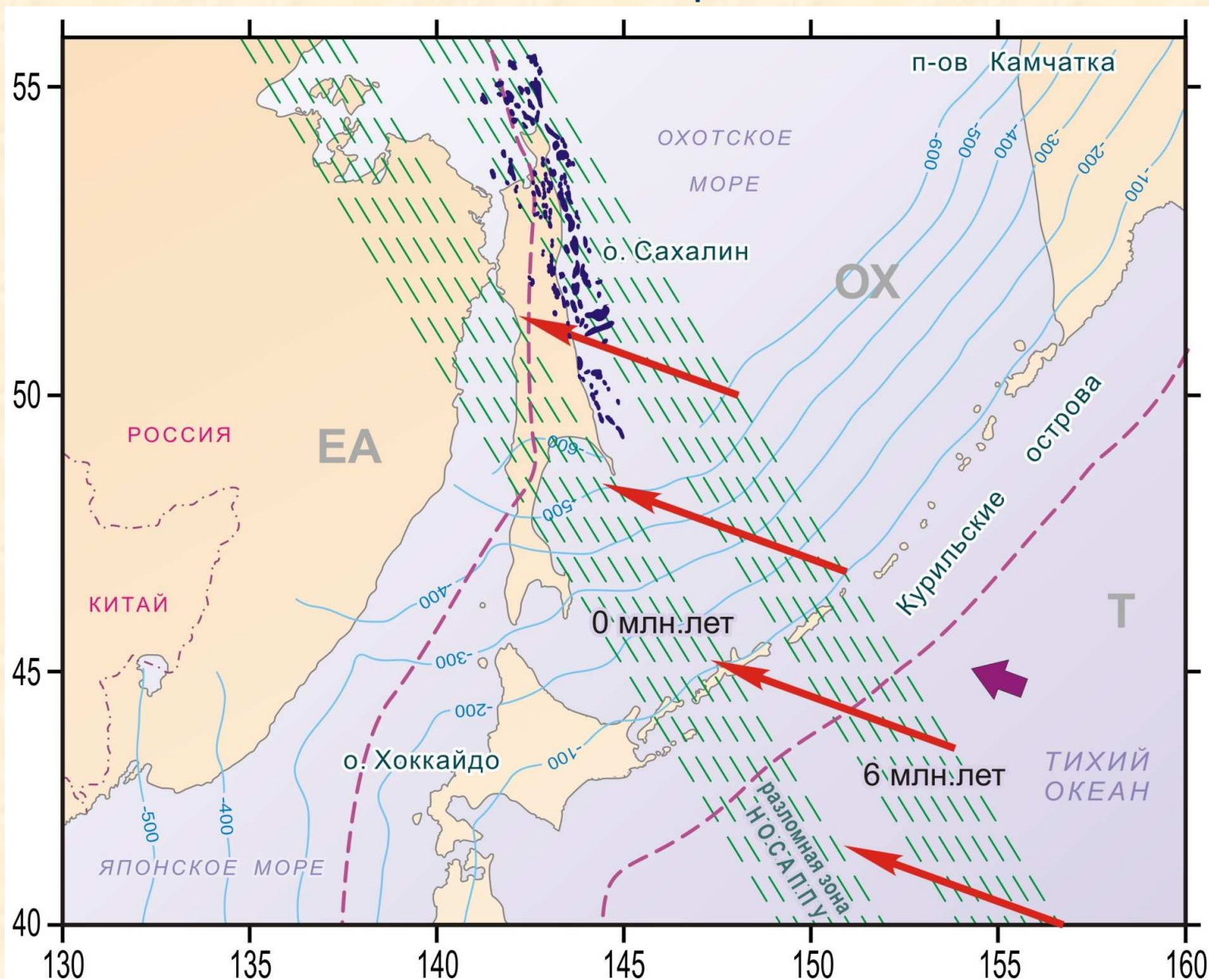
Такое проявление внутриплитного вулканизма указывает на тектоническую активность разломной зоны Носаппу с позднемiocенового времени.

Location of seafloor MT sites (red crosses) superimposed on a bathymetric map. Yellow stars indicate of petit-spot fields (K, Kaiko; Y, Yukawa; C, Choco-hip). White arrow indicates direction of Pacific Plate motion. (Baba et al., 2009)

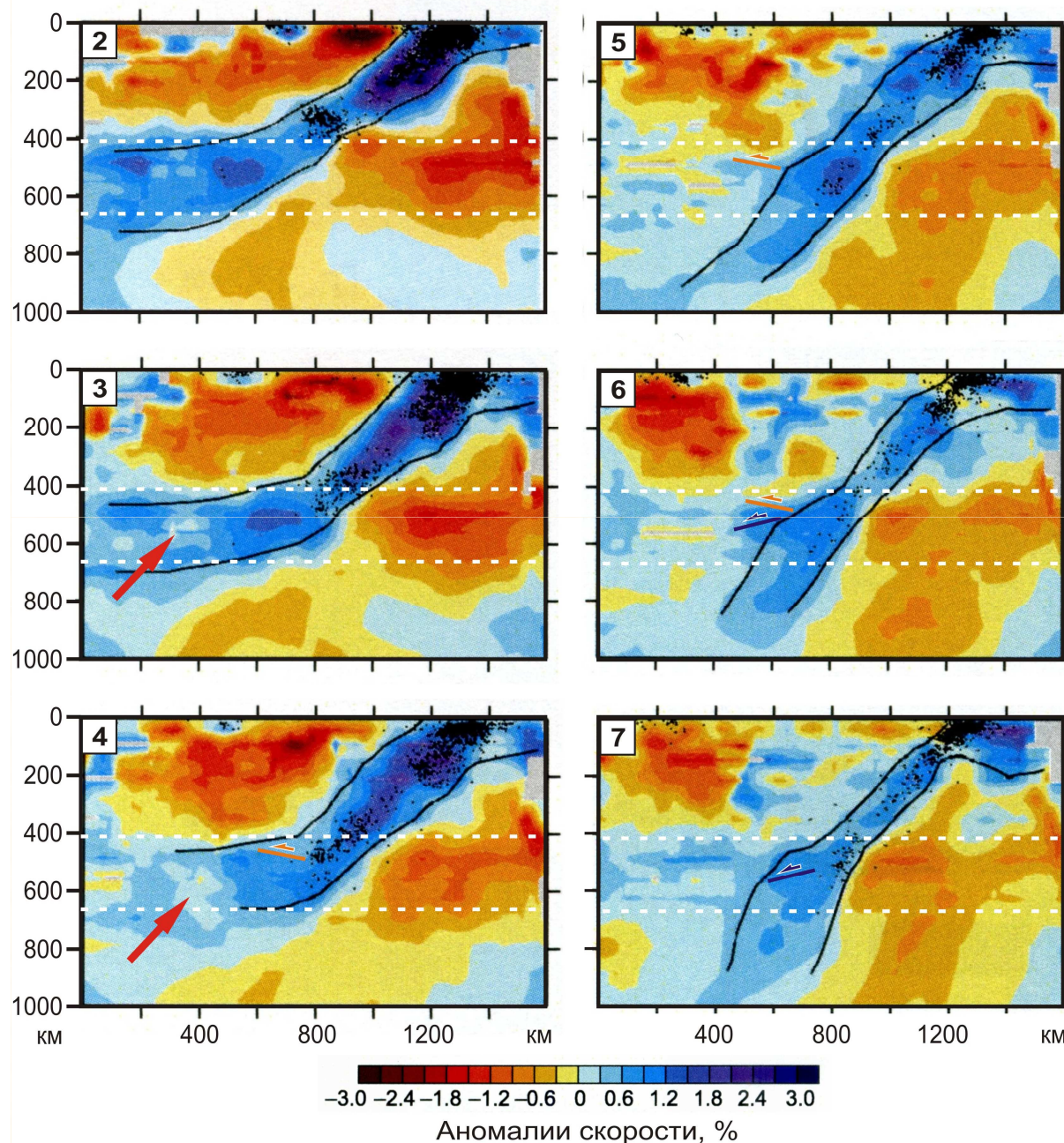
При условии, что скорость (~ 8 см в год) и направление (ЗСЗ 290°) движения Тихоокеанской плиты с позднего миоцена существенно не изменялись, то амплитуда ее перемещения к настоящему времени (с учетом замедления движения в зоне субдукции) составит до 400 км.



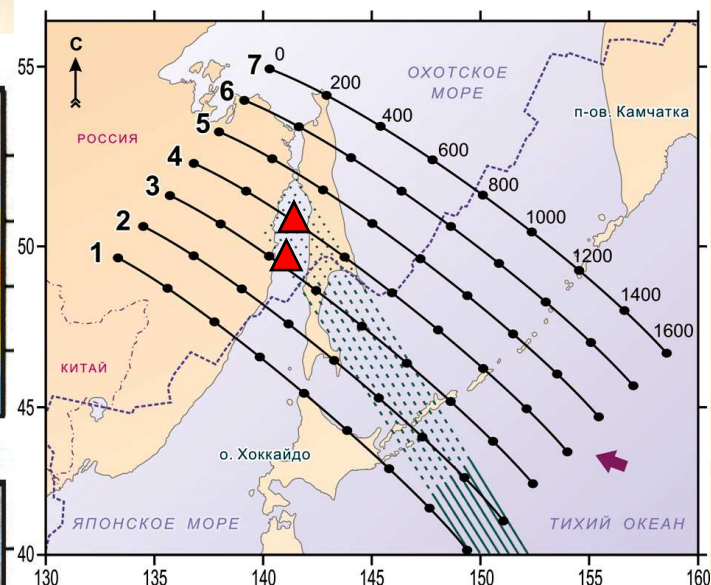
Из этого заключения следует, что
в позднем миоцене разломная зона Носаппу могла находиться
под северным Сахалином, где локализованы
основные запасы нефти и газа.



Аномалии скоростей P -волн на вертикальных сечениях. (Кулаков и др., 2011, с изменениями и дополнениями)



Положение сечений

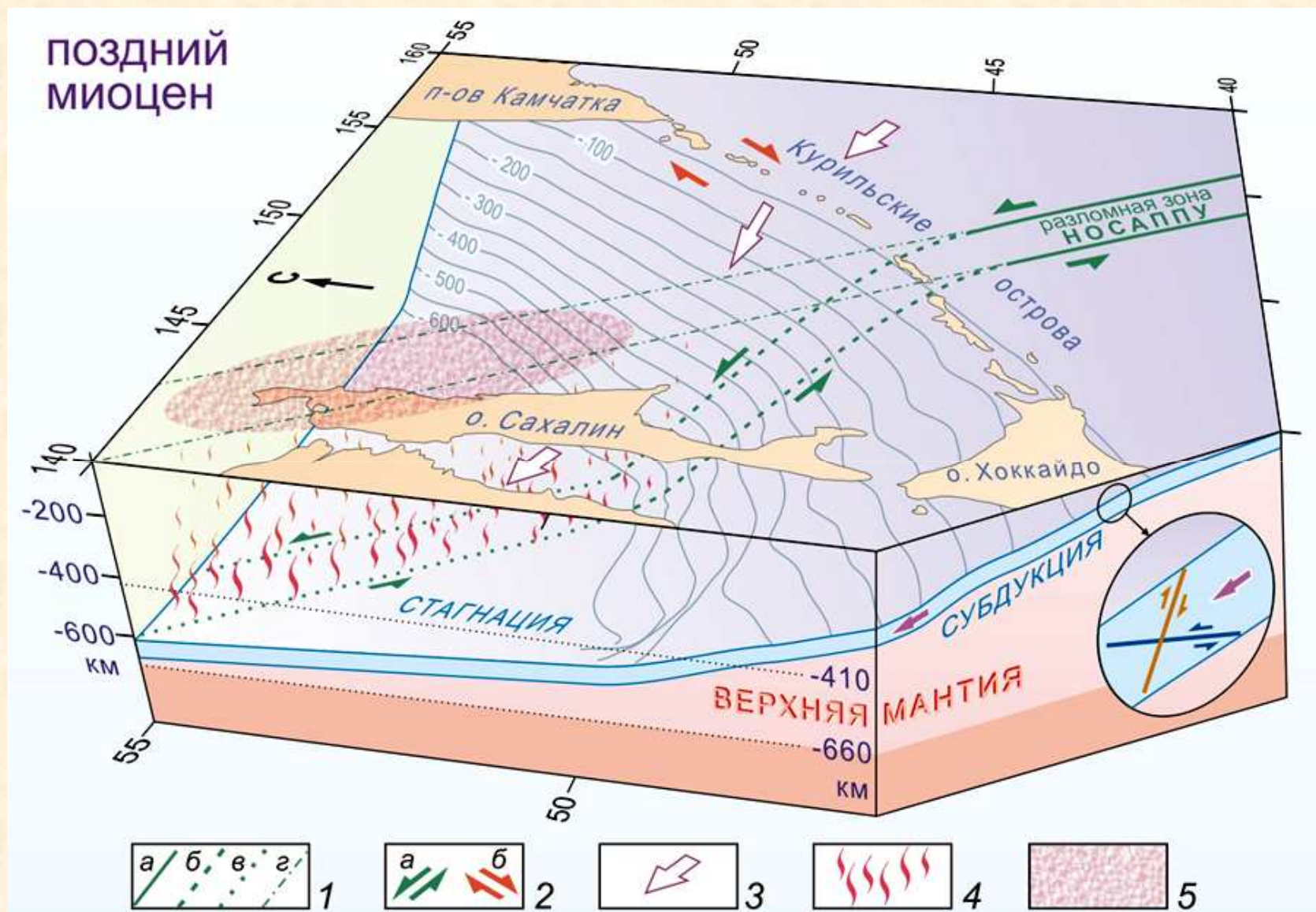


«Образование и накопление углеводородов, в основном, происходит в осадочных бассейнах, представляющих собой области длительного погружения земной коры. При этом, как считают многие специалисты, идет прогрев осадочной толщи восходящими тепловыми потоками, активизирующими процессы нефтегазообразования (Дмитриевский, Валяев, 2002; Соколов, 2001), а источником тепловых потоков являются мантийные диапиры расплавленного вещества, поднимающегося из мантии.» (Родников и др., 2004)

«Для большинства локальных структур бассейна (Северо-Сахалинской НГО, прим. авт.) характерно сочетание кон- и постседиментационного развития. Заложение многих структур можно отнести к началу среднего миоцена - периоду активизации тектонических движений. **Рост складок с различной степенью интенсивности и унаследованности продолжался в позднем миоцене и плиоцене.** Постседиментационные, тектонические движения (сахалинская фаза складчатости) в разной степени преобразовали облик этих структур, увеличив их амплитуду, степень интенсивности, осложненность разрывами. За счет этих движений сформированы и новые чисто постседиментационные структуры. Указанный **период формирования ловушек практически совпадает со временем интенсивной генерации и эмиграции УВ в основных очагах нефтегазообразования».**

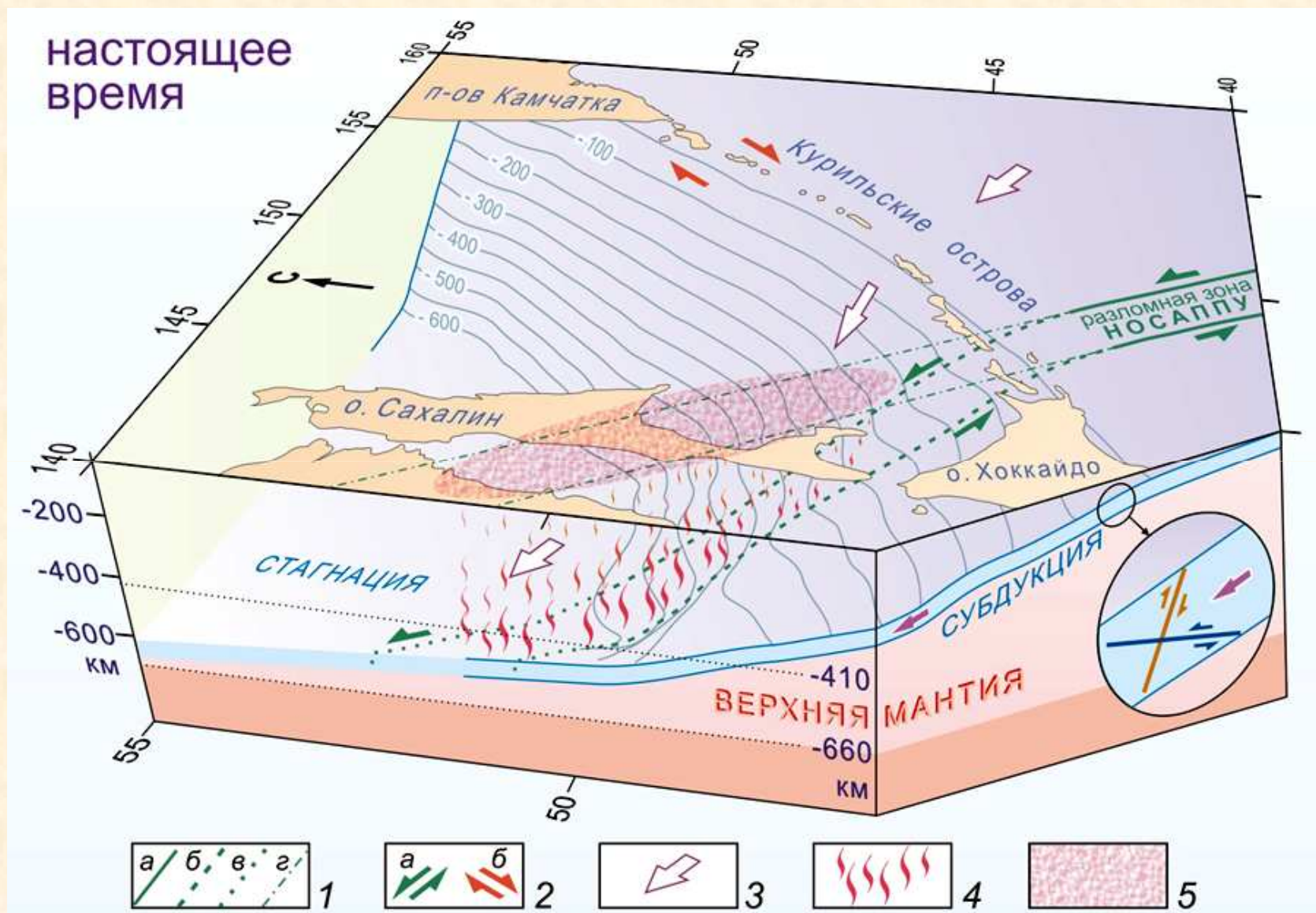
(Т.А. Гайдукова, 2006)

Область выхода теплового потока на поверхность за счет сдвиговых дислокаций по разломной зоне Носаппу в позднем миоцене



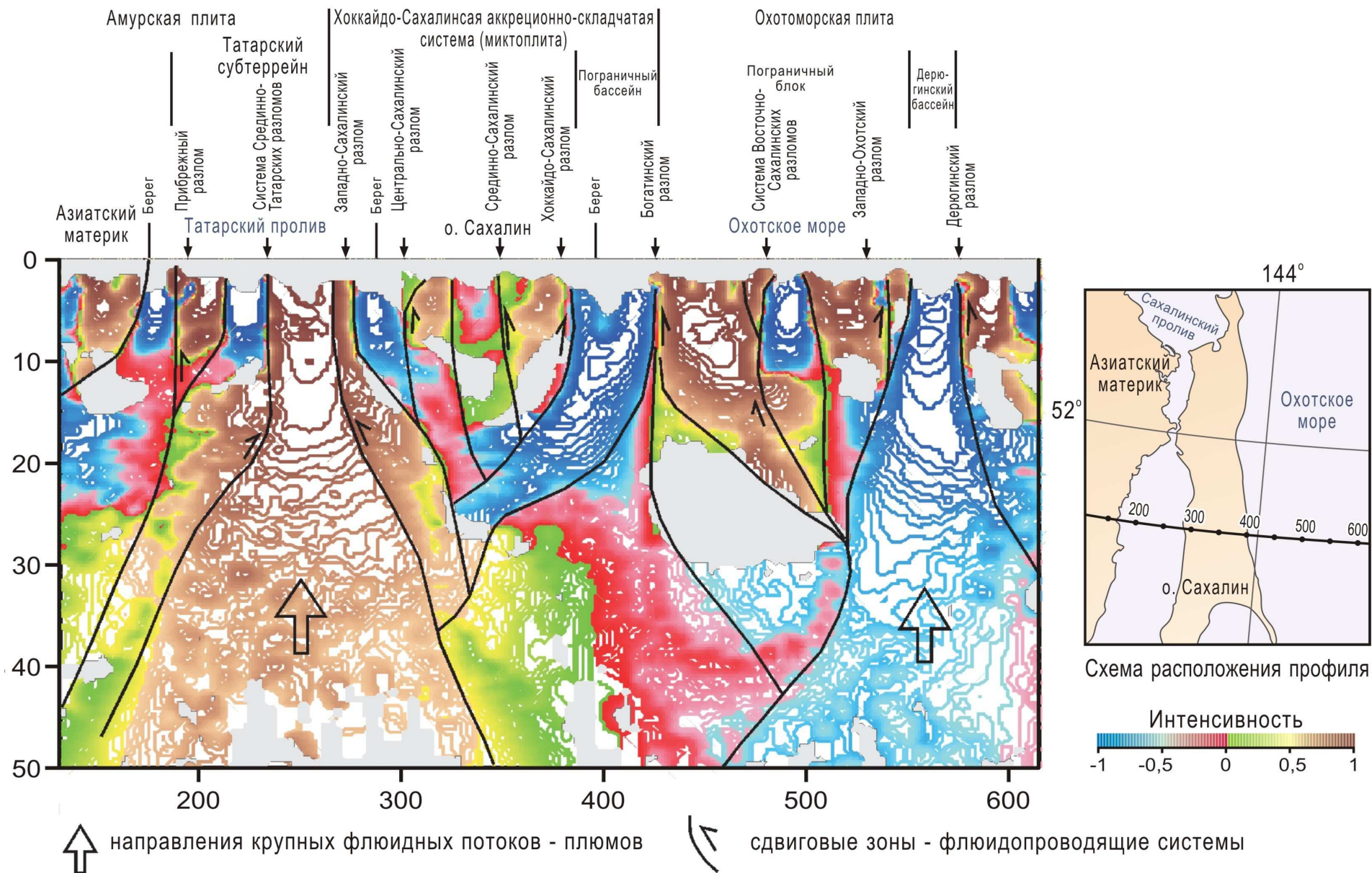
1 - разломы: на поверхности плиты (а), предполагаемые в зоне субдукции (б) и стагнации (в) и проекция сместителей разломной зоны Носаппу на поверхность; 2 - направление лево- (а) и правосторонних (б) смещений; 3 - направление движения Тихоокеанской плиты; 4 - тепловой поток; 5 - область выхода теплового потока на поверхность.

Область выхода теплового потока на поверхность за счет сдвиговых дислокаций по разломной зоне Носаппу в настоящее время



1 - разломы: на поверхности плиты (а), предполагаемые в зоне субдукции (б) и стагнации (в) и проекция сместителей разломной зоны Носаппу на поверхность; 2 - направление лево- (а) и правосторонних (б) смещений; 3 - направление движения Тихоокеанской плиты; 4 - тепловой поток; 5 - область выхода теплового потока на поверхность.

**Геодинамическая интерпретация (В.В. Харахинов, 2010)
магнитотомографического разреза (распределения параметров магнитного поля) по линии
Татарский пролив – о. Сахалин – Охотское море (по А.И. Атакову, Ю. Н. Гололобову, 2006).**



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проникновение мантийного теплового потока сквозь «холодный» слэб возможно лишь за счет сдвиговых смещений, развитие которых, как правило, сопровождается крутонаклонными структурами с осдвигового растяжения. Эти структуры фиксируются в зоне стагнации слэба в виде небольших участков пониженных скоростей P -волн, которые совпадают с направлением главных сместителей разломной зоны Носаппу.
- Таким образом, зону Носаппу можно рассматривать в качестве глубинной флюидоконтролирующей структуры ССЗ (330-340°) простирания, обеспечивающей проницаемость восходящих тепловых потоков из мантии. А в земной коре контроль флюидодинамической активности осуществляется уже глубинными разломами субмеридионального простирания.
- Поскольку месторождения Северо-Сахалинской нефтегазоносной области распределены в полосе ССЗ простирания, то есть субпараллельно разломной зоне Носаппу, то приведенные структурные доказательства ее флюидоконтролирующего значения, необходимо учитывать при проведении новых геолого-поисковых работ.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !