

Структурная позиция зоны сильнейшего землетрясения, произошедшего на Камчатке 30(29) июля 2025 года

Нурмухамедов А.Г., Сидоров М.Д.

Structural position of the strongest earthquake that occurred in Kamchatka on July 30(29), 2025

Nurmukhamedov A.G., Sidorov M.D.

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: nurmukhamedov1949@mail.ru

На основе имеющихся геолого-геофизических данных, результатов плотностного моделирования, проведенного на юге Камчатки и в ближайшей акватории Тихого океана, а также данных сейсмологии, показана структурная позиция зоны сильнейшего землетрясения, произошедшего на Камчатке 30(29) июля 2025 года.

Введение

Большой интерес у сейсмологов, вулканологов и широкого круга специалистов, занимающихся изучением современных геодинамических процессов в зоне перехода океан-материк, вызвало сильнейшее за последние 70 лет землетрясение с магнитудой (M_s) 8.4 ($M_w=8.8$), произошедшее 30(29) июля 2025 г. в сейсмофокальной зоне Камчатки. Координаты эпицентра землетрясения 52.36° с.ш., 160.53° в.д., глубина до гипоцентра 43.7 км. Существуют ли особенности геологического строения литосферы в зоне землетрясения и если да, то в чем они заключаются? Для ответа на данный вопрос авторами проведен сравнительный анализ результатов плотностного моделирования с информацией о землетрясениях, произошедших на протяжении длительного периода времени в ближайшей акватории Тихого океана. Для этих целей использовалась объемная плотностная модель [1], охватывающая Южную Камчатку и ближайшую акваторию океана, включая фрагмент глубоководного желоба. Для определения структурного положения эпицентральной зоны Камчатского землетрясения (КЗ) [5] использовался вертикальный срез (разрез) объемной модели вдоль линии S4 (рис. 1). С использованием комплекса данных, вдоль линии S4 построена геолого-геофизическая модель взаимодействия литосферных плит [3], где выделена кровля субдуцирующей океанической литосферы и показано расположение предшествующей субдукции – палеосубдукции, заблокированной Прибрежным террейном не позднее олигоцена [2]. Плотностной разрез и геолого-геофизическая модель представлены на рис. 2. Для анализа сеймотектонических особенностей региона использовались данные постоянно обновляемого каталога землетрясений, помещенного на сайте КФ ФИЦ ЕГС РАН (kam.emsd.ru). Осуществлена выборка сейсмических событий с магнитудой $M_s \geq 3.5$ в диапазоне глубин 30-50 км (рис. 1) за период инструментальных наблюдений с 1962 по 2013 гг. Для структурной привязки КЗ и зоны его афтершоков произведена выборка землетрясений с магнитудой $M_s \geq 5.0$ за период времени с 26.07.2025 г. по 31.12.2025 г.

Результаты исследований и обсуждение результатов

Как видно из рис. 1, подавляющее большинство эпицентров землетрясений расположено к востоку от побережья Камчатки в акватории океана в виде трех протяженных полос – сейсмических линеаментов, параллельных восточному побережью полуострова. На протяжении длительного времени они не меняют своего положения, и поэтому их можно назвать стационарными. В каждом линеаменте можно провести центральную линию, которая будет маркировать осевую часть сейсмически активной области. Эту линию можно назвать осью зоны высокой сейсмичности (ОЗВС).

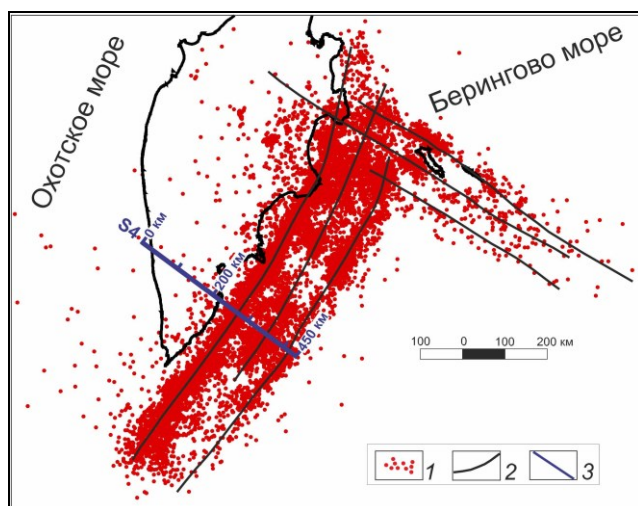


Рис. 1. Эпицентры землетрясений (1962-2013 гг.) с глубиной гипоцентров 30-50 км ($M_s \geq 3.5$).
 1 – эпицентры;
 2 – оси зон высокой сейсмичности (ОЗВС);
 3 – линия S4: линия плотностного разреза и геолого-геофизической модели.

На рис. 2б красными полосами и вертикальными стрелками отмечены участки пересечения линии разреза сейсмическими линеаментами (а) с их осями зон высокой сейсмичности (б).

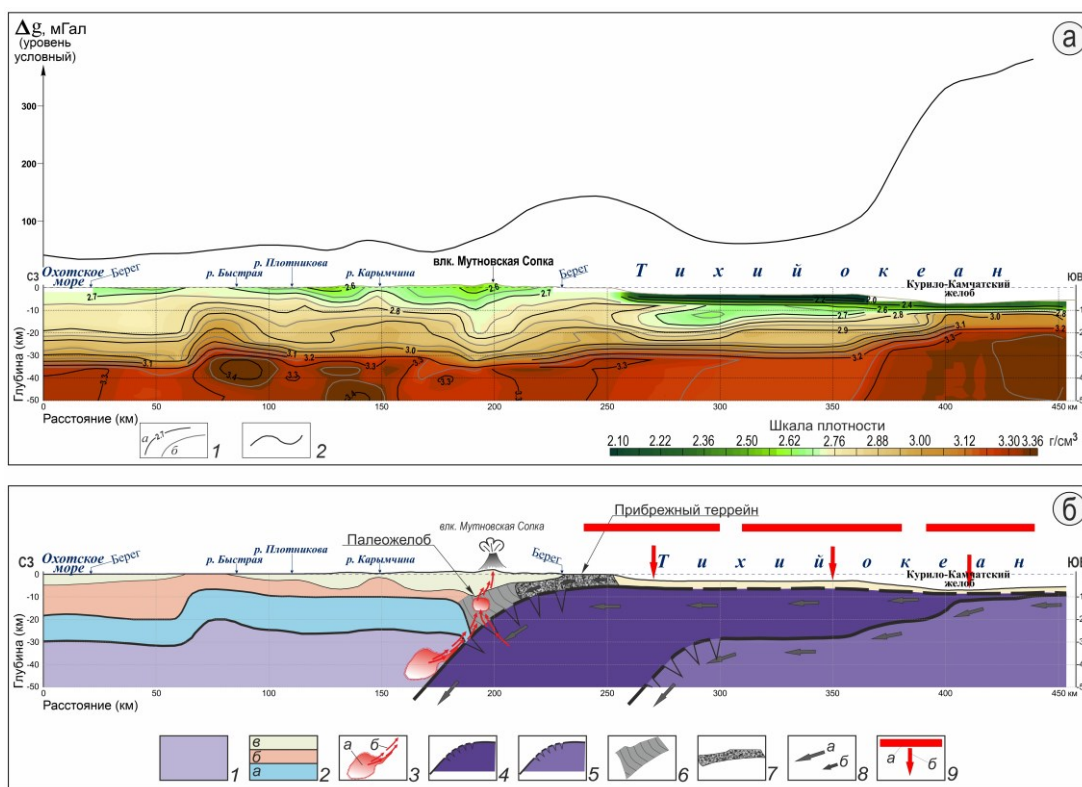


Рис. 2. Плотностной разрез (а) и геолого-геофизическая модель (б) вдоль линии S4. Рис. 2а: 1 – изоденсы основные (а), промежуточные (б) и значения плотности в $г/см^3$ (сечение основных изоденсов $0.1 г/см^3$, промежуточных – $0.05 г/см^3$); 2 – график поля силы тяжести в редукции Буге (уровень условный). Рис. 2б: Континентальная (нависающая) литосферная плита: 1 – верхняя мантия; 2 – слои земной коры: гранулитово-базитовый (а), гранито-метаморфический (б), мезокайнозойский вулканогенно-осадочный комплекс пород (в); 3 – предполагаемые очаги плавления, выделенные по данным МТЗ [2] и подтвержденные плотностным моделированием [1] (а), направление движения магматических расплавов и тепловых потоков (б); 4 – фрагмент палеосубдукции (субдукция до эоцена включительно) с зоной растяжения на участке максимального перегиба слэба; 5 – фрагмент современной субдукции с зоной растяжения; 6 – зона аккреции; 7 – прибрежный террейн; 8 – направление движения субдукций (а) и островодужного блока (б) в процессе его приращения к краевой части материковой литосферы;

9 – участки пересечения линии разреза S4 сейсмическими линеаментами (а) с их осями зон высокой сейсмичности (б).

Сопоставление полученных данных указывает на совпадение зоны максимального перегиба слэба современной субдукции (270-310 км линии S4) с линеamentом, расположенным наиболее близко к береговой линии. Вероятно, образование тектонического напряжения и его разгрузки в виде землетрясений происходят в процессе продвижения океанической литосферы через зону максимального перегиба на глубине 30-50 км, где и происходит формирование зоны растяжения. Наиболее высокая плотность сейсмических событий с магнитудой $M_s \geq 5-6$ наблюдается как раз в интервале глубин 30-50 км [3]. Следующий по удаленности от береговой линии сейсмический линеament совпадает с участком обратного изгиба кровли слэба (330-370 км). И, наконец, наиболее удаленный от берега третий линеament совпадает с перегибом в районе самой верхней ступени кровли субдукции (390-420 км). Вероятно, в этих двух изгибах также формируются тектонические напряжения с их последующей разгрузкой в виде сейсмических событий.

Как видно из рис. 3а, распространение афтершоков КЗ с магнитудой $M_s \geq 5$ зафиксировано в ближайшей акватории океана вдоль восточного побережья Камчатки и Северных Курил. Примерно у половины из этих землетрясений (~46 %) глубина до гипоцентров составляет от 40 до 50 км. В зоне 2-го по удаленности от береговой линии сейсмического линеamenta (рис. 1) уверенно выделяется участок с *высокой плотностью* афтершоков, где в большинстве своем глубина до гипоцентров также составляет 40-50 км. Эпицентры главного сейсмического толчка КЗ и предваряющего форшока ($M_s=7.4$, 20.07.25) практически совпадают с ОЗВС второго линеamenta (рис. 3а). В этом же локальном участке расположен и эпицентр Большого Камчатского землетрясения (БКЗ) [5], произошедшего в 1952 г. Таким образом, наиболее сейсмоактивный участок протяженной области сейсморазрыва [4] расположен в зоне обратного изгиба кровли субдуцирующего слэба.

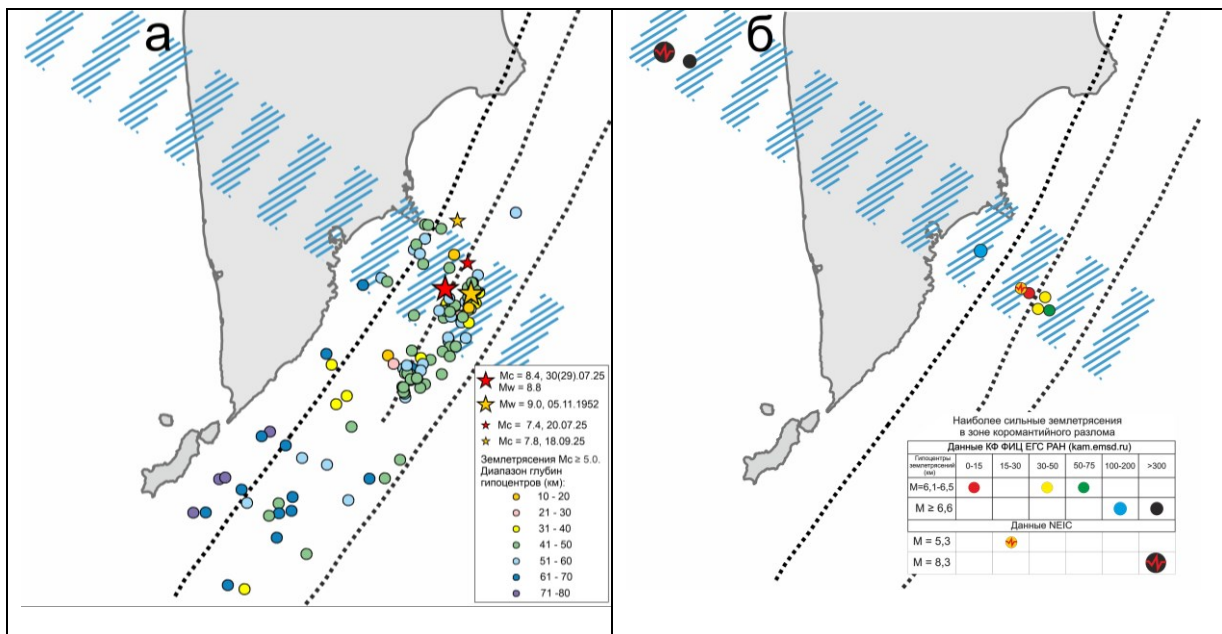


Рис. 3. Эпицентры землетрясений: а) с магнитудой $M_s \geq 5.0$ за период времени с 26.07.25 по 31.12.25; б) с магнитудой $M_s \geq 6.1$ (КФ ФИЦ ЕГС РАН), $M_w=5.3$ и $M_w=8.3$ (NEIC) в зоне кормантийного разлома в разные периоды времени.

В мае 2013 г. в акватории Тихого океана произошла серия землетрясений, наиболее мощное из них – 19 мая ($M_s=6.4$) (рис. 3б). Глубина до гипоцентров составляет нескольких десятков километров. 24 мая в Охотском море произошло сильное землетрясение магнитудой $M_s=8.3$. Гипоцентр находился близко к границе

между верхней и нижней мантией. Позже, 28 мая, в Тихом океане, в северо-западном продолжении сейсмоактивного линеамента, произошло очередное землетрясение с магнитудой 5.3. Несмотря на то, что Тихоокеанские и Охотское землетрясения произошли на разных глубинах, их объединяет то, что они произошли в короткий временной интервал. Землетрясения входят в широкую полосу, пересекающую Южную Камчатку, куда входит и эпицентр сильного землетрясения, произошедшего в Авачинском заливе 24 ноября 1971 г. (рис. 3б). Полоса совпадает с Начикинской (Малко-Петропавловской) зоной поперечных дислокаций. Таким образом, по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных, Южную Камчатку и ближайшую акваторию океана под азимутом 305° пересекает значительная по масштабам зона коромантийного трансформного сейсмоактивного разлома.

Заключение

Такие сейсмические события, как Камчатское мега-землетрясение 30(29) июля 2025 г. с его плотным роем афтершоков, форшок 20 июля ($M_s=7.4$), серия землетрясений в мае 2013 г. и Большое Камчатское землетрясение ноября 1952 г., произошли на участке пересечения коромантийного трансформного сейсмоактивного разлома с зоной *обратного изгиба* кровли субдуцирующей океанической литосферы.

Список литературы

1. Нурмухамедов А.Г., Сидоров М.Д. Модель строения Южной Камчатки по результатам плотностного 3D-моделирования и комплексу геолого-геофизических данных // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 2. С. 25-43. <https://doi.org/10.30911/02074028-2022-41-2-25-43>
2. Нурмухамедов А.Г., Сидоров М.Д. Строение литосферы и ее влияние на золотоносность Юго-Восточной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2023. Вып. 59. № 3. С. 20-41. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-3-59-20-41>
3. Нурмухамедов А.Г., Сидоров М.Д. Структурная позиция Толмачевского активного магматического центра на юге Камчатки и его происхождение // Георесурсы. 2025. Т. 27. № 2. С. 139-150. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.3.18>
4. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Труды Института физики Земли АН СССР. № 36 (203). М.: Наука, 1965. С. 66-93.
5. Чебров Д.В. Камчатское мега-землетрясение 29 июля 2025 г. ($M_w=8.8$) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2025. Вып. 67. № 3. С. 113-117.