

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ
ПРИ ОНЗ РАН
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГИН РАН)
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ им. М.В. ЛОМОНОСОВА



**ТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА
ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ-2024**

Материалы LV Тектонического совещания

Том 2

Москва
ГЕОС
2024

УДК 549.903.55 (1)

ББК 26.323

Т 76

Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2024. Материалы LV Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2024. 284 с.

ISBN 978-5-89118-881-5

DOI 10.34756/GEOS.2024.17.38797

Ответственный редактор

К.Е. Дегтярев

*На 1-й странице обложки:
Вид со склона г. Янусфьеллет, Шпицберген
(Фото М.А. Рогова, 2019)*

© ГИН РАН, 2024

© Издательство ГЕОС, 2024

Оползни на норвежской континентальной окраине и вероятность их возникновения

Переходная зона от континентальных структур Норвегии к океанической коре Норвежского и Гренландского морей протягивается от Норвежского трога на юге до плато Ермак на севере и имеет протяженность порядка 2500 км. По количеству оползней и протяженности их зон отрыва окраина может быть разделена на три сегмента (с юга на север) – Скандинавский, Баренцевоморский и Шпицбергенский.

Скандинавский сегмент протягивается вдоль западного побережья Скандинавского полуострова от Норвежского трога до банки Фюглёбанкен, примерно на 1100 км. На континентальном склоне и глубже установлено около 40 подводно-оползневых тел с возрастом смещения оползневых масс от 2.6 млн лет до 4 тыс. лет. Здесь расположены такие крупные оползни как Траенаджюпет и Аннёйа, а также гигант – Сторегга [1–3]. Они формировались на склонах с крутизной ~1.5–3. Проведенный авторами анализ данных, полученных при картировании акватории Норвегии [4] показывает, что общая протяженность стенок отрывов оползней и каньоны занимают порядка 70% континентального склона скандинавского сегмента. Это свидетельствует о том, что в глубоководные области Норвежского моря переместилась значительная часть осадочного материала и этом регионе; масштабные оползни могут возникнуть только в тех областях, которые расположены вне зон разгрузки. Этому может способствовать самая интенсивная в северной Европе сейсмичность с низкими или средними магнитудами землетрясений [5].

Баренцевоморский сегмент [2] представляет собой область перехода протерозойских структур Свальдбардской плиты к океанической коре Норвежского моря. Протяженность сегмента составляет порядка 660 км. В рельефе сегмент представлен шельфом Баренцева моря и континентальным склоном к Лофотенской глубоководной впадине. Глубже бровки шельфа, расположены мощные (3,5–4 км) отложения конусов выноса (с юга на север – Медвежинский, Квейтола и Сторфьорд) позднплиоцен-плейстоценового возраста. Помимо них, в сегменте установлены 24 оползня, которые формировались в позднчетвертичное время, а часть – за по-

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), Москва, Россия

следние 20 000 лет [6, 7]. Считается, что повышенные давления флюидов в осадках (в среднем 35%), землетрясения и постледниковый подъем способствовали возникновению оползневых процессов.

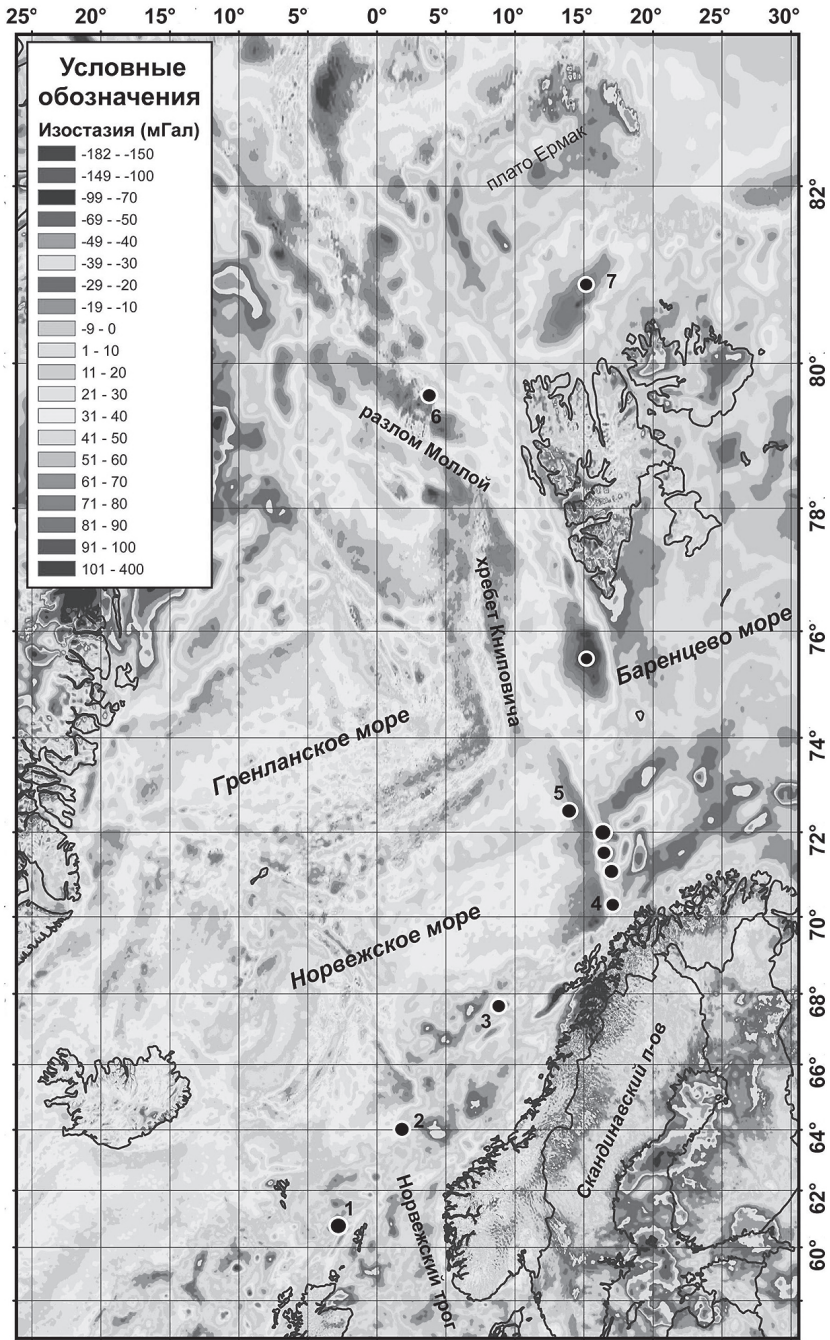
На основании данных спутниковой альтиметрии [8] и сглаженного до аналогичной детальности рельефа дна [9] были рассчитаны изостатические аномалии (рис. 1). Положительные значения этого поля, указывающие на наличие избыточной нагрузки на фундамент, сосредоточены на западном и северном континентальных склонах Баренцевоморского шельфа. Наличие максимумов изостазии около трогов Медвежинского и Сторфьорд указывает на накопление терригенных конусов выноса, некомпенсированных в изостатической аномалии, обладающих потенциальной подвижностью в условиях слабой консолидации осадочного материала и высокого градиента рельефа за бровкой шельфа. Дополнительным фактором нестабильности является близость к сейсмически активным хребту Книповича и западной части шельфа [10].

Шпицбергенский сегмент протягивается, примерно на 500 км, вдоль восточных частей Гренландского моря и пролива Фрама. Современная скорость подъема архипелага Шпицберген составляет 4–5 мм/год. Крупных оползней в пределах сегмента не обнаружено. Вдоль Западного Шпицбергена установлено >1200 газовых факелов [11]. Предполагается, что их появление связано с разрушением газогидратного слоя [12]. Эти процессы могут влиять на разуплотнение осадков и формирование обширных площадей дестабилизированного осадочного материала, залегающего на склонах крутизной от 4° до 8–10°, что достаточно для его перемещения.

Континентальная окраина западнее архипелага Шпицберген имеет уникальное строение. На востоке зоны перехода расположены докембрийские и каледонские комплексы о-вов Западный Шпицберген и Земля Принца Карла, а на западе протягивается субмеридиональный срединговый хребт Книповича. Скорость срединга на хребте Книповича составляет от 0.6 до 1.5 см/год. Расстояние от его рифтовой долины до бровки шельфа на траверзе юга о. Западный Шпицберген составляет 150 км, а на севере всего 50 км [13]. Район характеризуются многочисленными сейсмическими событиями с магнитудами 3.3–5.7.

Рис. 1. Изостатические аномалии в районе Норвежской континентальной окраины, рассчитанные по данным спутниковой альтиметрии [8] и рельефа дна по данным (GEBCO, 2014) для глубины компенсации 33 км и перепаду плотностей кора–мантия 0.5 г/см³. Кружки крупные оползни. Цифры – названия наиболее крупных оползней: 1 – Афен, 2 – Сторегга, 3 – Траенадзюпет, 4 – Аннёйа, 5 – Медвежинские (Vjørnøya Fan Slide Complex – BFSC I – III), 6 – Моллой, 7 – Хинлоппен





В районе 78°30' с.ш. рифт хребта Книповича [14] соединяется с разломом Моллой. В зоне сочленения рифт–трансформ расположено «угловое поднятие» Святогор с минимальной глубиной 1498 м. Его восточный склон осложнен узкими и протяженными оползневыми ступенями. Разлом Моллой выражен в рельефе дна желобом с максимальной глубиной в 2950 метров. Его северо-восточный склон совпадает с пологим склоном аккумулятивного хребта Вестнеса [15–17]. На юго-восточном склоне хребта Вестнеса существует система открытых трещин, имеющих в плане серпообразную форму. Она расположена в области развития газогидратов [18], которые даже при небольших изменениях температуры и давления выделяют огромное количество газа и могут вызвать неустойчивость склонов. Последние установлены также и на вершинной поверхности хребта на которой известны многочисленные газовые факелы, газоподводящие каналы и газовые воронки [11, 17].

Для хребта Книповича, разломной зоны Моллой и одноименной впадины характерна интенсивная сейсмичность и контрастность рельефа [14, 15]. Так, перепад рельефа от впадины Моллой к бровке шельфа о. Западный Шпицберген на расстояние порядка 160 км превышает 5000 м. Крутизна склонов меняется от 4° до 35° на отдельных участках. Таким образом, в рассмотренном регионе, сложились все условия, которые могут привести к движению крупного подводного оползня [15]. Для пролива Фрама было проведено [19] компьютерное моделирование возможного схода оползня, который может вызвать цунами с высотой волны до 3-х и более метров на побережьях Гренландского и Норвежского морей.

Работа выполнена по теме госзадания ГИН РАН FMMG-2023-0005 «Влияние глубинного строения мантии на тектонику, морфологию структур дна и опасные геологические процессы в глубоководных и шельфовых акваториях Мирового океана»

Литература

1. *Baeten N.J.* Mass movements on the continental slope offshore Lofoten, Northern Norway // A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor University of Tromsø Uit. Faculty of Science Department of Geology. 2013. 51 p.
2. *Hjelstuen B.O., Eldholm O., Falide J.I.* Recurrent Pleistocene mega-failures on the SW Barents Sea margin // *Earth Planet. Sci. Lett.*. 2007. V. 258. P. 605–618.
3. *Laberg J.S., Vorren T.O., Dowdeswell J.A. et al.* The Andøya Slide and the Andøya Canyon, north-eastern Norwegian–Greenland Sea // *Marine Geology*. 2000. V. 162. P. 259–275.
4. <http://www.mareano.no/kart/>
5. *Olesen O., Bungum H., Dehls J. et al.* Neotectonics, seismicity and contemporary stress field in Norway – mechanisms and implications // *Olsen L., Fredin O.,*

- Olesen, O. (eds.). Quaternary Geology of Norway, Geological Survey of Norway Special Publication. 2013. V. 13. P. 145–174.
6. *Llopart J.* Storfjorden Trough Mouth Fan (Western Barents Sea): slope failures in polar continental margins; significance of stress changes and fluid migration induced by glacial cycles Doctoral Thesis. Univeritat de Barcelona. 2016. 263 p.
 7. *Lucchi R.G., Camerlenghi A., Rebesco M. et al.* Postglacial sedimentary processes on the Storfjorden and Kveithola trough mouth fans: Significance of extreme glacialmarine sedimentation // *Global and Planetary Change*. 2013. V. 111. P. 309–326.
 8. *Sandwell D.T., Smith W.H.F.* Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate // *J. Geoph. Res.: Solid Earth*. 2009. V.114. № B1. P. 1–18. doi:10.1029/2008JB006008.
 9. GEBCO 30" Bathymetry Grid. Version 20141103. 2014. (<http://www.gebcocnet>)
 10. *Keiding M., Olesen O., Dehls J.* Neotectonic map of Norway and adjacent areas. Scale 1:3000000. Geological Survey of Norway. 2018.
 11. *Mau S., Römer M., Torres M. E. et al.* Widespread methane seepage along the continental margin off Svalbard – from Bjørnøya to Kongsfjorden // *Scientific Reports*. 2017. | 7:42997 | P. 1-13. DOI: 10.1038/srep42997
 12. *Ejike C.E.* Assessment of Hazards in Gas Hydrates Recovery // *Open Journal of Yangtze Gas and Oil*. 2019. V. 4. P. 231–239. <https://doi.org/10.4236/ojogas.2019.44018>
 13. *Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю. и др.* Строение зоны перехода континент–океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006–2009 гг.) // *Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год*. Т. 4. М.: Paulsen, 2010. С. 111–157.
 14. *Зарайская Ю.А.* Особенности сегментации и сейсмичности ультрамедленных срединно-океанических хребтов Книповича и Гаккеля // *Геотектоника*. 2017. № 2. С. 67–80.
 15. *Мазарович А.О., Мороз Е.А., Зарайская Ю.А.* Опасность подводного оползня западнее архипелага Шпицберген // *Литология и полезные ископаемые*. 2018. № 4. С. 287–294.
 16. *Bünz S., Polyakov S., Vadakkepuliambatta S. et al.* Active gas venting through hydrate-bearing sediments on the Vestnesa Ridge, offshore W-Svalbard // *Marine Geology*. 2012. V. 332–334. P. 189–197.
 17. *Vanneste M., Guidard S., Mienert J.* Bottom-simulating reflections and geothermal gradients across the western Svalbard Margin // *Terra Nova*. 2005. V. 17 (6) P. 510–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2005.00643.x>
 18. *Dumke I., Burwicz E.B., Berndt C. et al.* Gas hydrate distribution and hydrocarbon maturation north of the Knipovich Ridge, western Svalbard margin // *J. Geophys. Res.: Solid Earth*. 2016. V. 121. P. 1405–1424, doi:10.1002/2015JB012083.

19. Berndt C., Brune S., Nisbet E. et al. Tsunami modeling of a submarine landslide in the Fram Strait // *Geochemistry Geophysics Geosystems* (G3). 2009. V. 10. 4. DOI: 10.1029/2008GC002292

В.М. Макеев¹, Е.А. Пикулик¹, Е.А. Макеева¹

Неотектоническая зональность области сочленения Северо-Западного Кавказа и Черноморской впадины

В пределах Северо-Западного Кавказа выделяются разнотипные общекавказские и антикавказские по простираению неотектонические структуры, формирующиеся в условиях напряжений растяжения и сжатия [3–5, 9]. Многими исследователями признается роль субдукции и коллизии Восточно-Черноморской и Скифской микроплит (блоков), с которыми связываются напряжения сжатия и растяжения [2, 10]. В этих процессах напряжениям растяжения отводится второстепенная роль. Исследования показали, что выделяются продольные (общекавказские) и поперечные (антикавказские) структуры растяжения, в формировании которых роль Черноморской субокеанической впадины, как источника дополнительных напряжений недооценивается.

В районе г. Геленджика и его окрестностей проведены детальные структурно-геоморфологические и неотектонические исследования в связи с проектированием инженерных водоотводных трасс и обеспечения их безопасности от негативных геологических процессов: сейсмичности, селевых и оползневых и проч. процессов интенсивного характера. Цель работ – определение неотектонической зональности и современных структурно-геодинамических условий зоны сочленения Северо-Западного Кавказа с Черноморской впадиной. Для определения происхождения зональности привлекались геолого-геофизические и сейсмотектонические данные и результаты ГНСС-измерений [1, 6–8]. В основу исследований положены принципы тектонической расслоенности литосферы, разноглубинности и разновозрастности напряжений и деформаций [2, 4, 8].

В Геленджикской подгорной равнине (абс. отм. 160–390 м), сопряженной с Маркотхским хребтом на севере (500–700 м) и черноморским побережьем на юге, выделены разного генезиса геоморфологические ступени, оценены их возраст и высотное положение. Субстратом, на котором

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия