

И. М. Демина, А. А. Петрова

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ФУНДАМЕНТА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК» ПО МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Введение

В основе системы геоэкологического мониторинга лежит принцип прогнозирования и своевременного предупреждения нежелательной ситуации. В связи с активным использованием акваторий особое значение для обеспечения экологической безопасности приобретает изучение природных процессов, обуславливающих перемещение и преобразование пород земной коры в вертикальном и горизонтальном направлениях [1]. Это выдвигает на первый план в морских геоэкологических исследованиях две задачи: 1) мониторинг процессов трансформации осадочного чехла, рельефа дна и берегов; 2) всестороннее изучение глубинных зон разрывных нарушений фундамента, которые могут влиять на современный рельеф дна и проявляться зонами сгущения изобат, прямолинейными уступами, линиями сбросов, флексур, аномальных углов падения и подводными долинами.

Концепция создания системы геоэкологического мониторинга морских регионов, вовлекаемых в развитие нефтегазовой промышленности, основывается на оперативном сборе данных о состоянии акватории и использовании принципа предупреждения катастрофических последствий, а не реагирования на уже сложившуюся ситуацию. Основой для прогноза возможных экологических изменений могла бы служить карта потенциальной экологической опасности для конкретной акватории. В настоящей работе предпринимается попытка выделения потенциально опасных участков наиболее вероятной трансформации рельефа дна Балтийского моря под влиянием природных факторов вдоль линии трубопровода «Северный поток». На основе анализа структуры аномального магнитного поля проведено исследование особенностей глубинного строения земной коры южной и центральной частей акватории. Как показано ранее в [2], такого рода анализ вдоль протяженных галсов съемки НИС «Заря» позволяет изучать магнитные и немагнитные неоднородности земной коры в интервале глубин от 1 до 30 км. Это дает возможность выявлять характер аномальных зон глубинных тектонических разломов, способствующих подвижкам в литосфере и являющихся источниками дополнительной опасности в связи с возможной трансформацией рельефа дна на участках прокладки трубопровода.

Использованные данные и метод исследования

Для решения задачи выявления аномальных участков, которые пересекают трубопровод «Северный поток», в данной работе использованы материалы систематической компонентной магнитной съемки, выполненной на НИС «Заря» в Балтийском море [3–5]. Для получения аномального поля из измеренных значений компонент было вычтено нормальное поле, вычисленное по коэффициентам IGRF (Международное геомагнитное нормальное поле) на эпоху съемки. Подробность и детальность съемки позволили проанализировать ряд протяженных галсов, проходящих через известные области разрывных нарушений фундамента, в частности, зону Тейссера-Торнквиста (Т-Т), вблизи предполагаемой линии прокладки трубопровода. Точность измерений гидромагнитной съемки составляет 20–30 нТл. Дискретность выборки 0,1 км и длина анализируемых маршрутов около 500–900 км позволили исследовать магнитные характеристики земной коры в диапазоне аномалий протяженностью 0,7–200 км.

Для изучения глубинных неоднородностей строения земной коры Балтийского моря в данной работе применен метод спектрально-пространственного анализа (СПАН) [6–7]. В основе метода лежит последовательная линейная фильтрация спектра исходного поля с последующим обратным преобразованием полученного набора спектров в интересующем диапазоне периодов аномалий. СПАН геомагнитного поля вдоль профиля создает спектрально-пространственное представление в виде матрицы, позволяющей детально исследовать структуру магнитного поля, его дисперсионные и пространственные свойства, в том числе аномалии, создаваемые как магнитными, так и слабомагнитными комплексами пород фундамента и осадочного чехла. Аномалии от магнитных геологических образований, проявляясь на геомагнитном разрезе в виде областей максимумов амплитуд аномалий на соответствующих участках профиля, создают маркирующие горизонты, что позволяет провести их идентификацию и увидеть относительное распределение намагниченности пород между разными литолого-стратиграфическими комплексами. На основе экспериментально-теоретической зависимости параметров спектральной структуры магнитного поля от глубины залегания магнитовозмущающих тел по результатам СПАН, выполненного по профилям морской компонентной съемки длиной 500–1000 км, можно построить геомагнитный разрез в интервале глубин от 0,5 до 20–30 км с погрешностью 10–15%.

Геомагнитный разрез позволяет оценить мощность и характер залегания неоднородностей, отличающихся по магнитным свойствам, и провести картирование структурно-вещественных комплексов на основе изменчивости физических свойств горных пород. Выделяя контрастные поверхности и тектонические нарушения, отражающиеся в виде границ контактов пород разной намагниченности, геомагнитный разрез дает возможность проследить характер сочленения отдельных структур на глубине.

Анализ результатов

В юго-западной части Балтийского моря проходит одна из древнейших тектонических границ, разделяющих Западную и Восточную Европу, которая прослеживается далее на восток через регион Большого и Малого Кавказа, так называемая линия

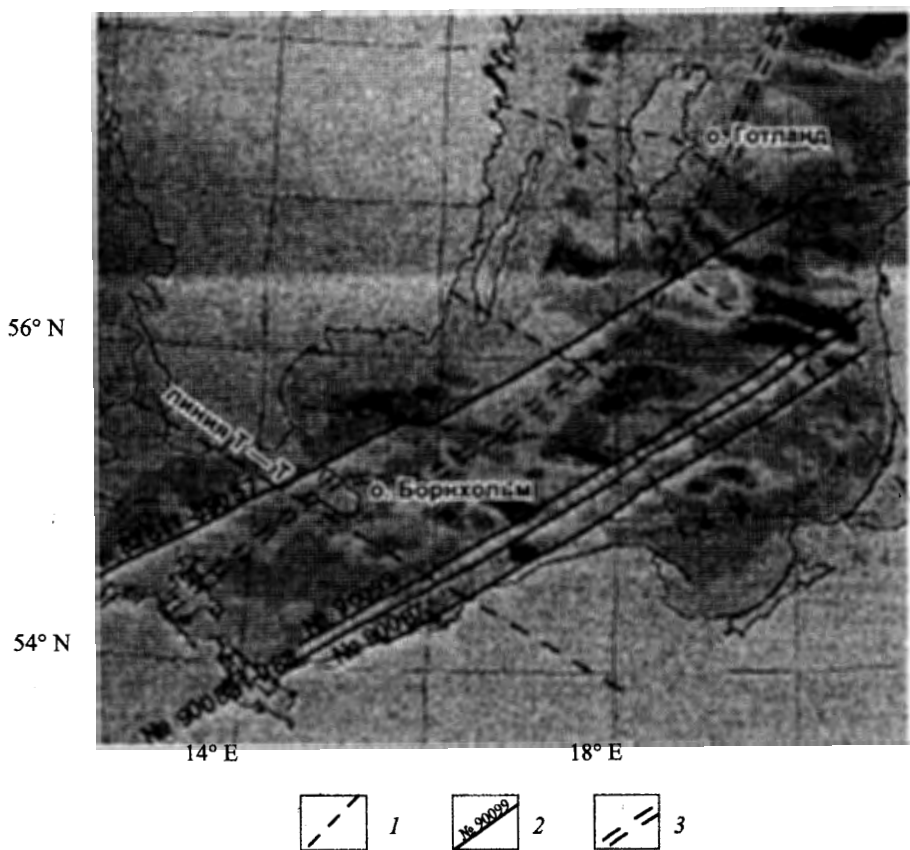


Рис. 1. Схема размещения галсов компонентной съемки относительно глубинных разломов на акватории Балтийского моря
1 — разломы; 2 — местоположение профиля и номер галса; 3 — линия трубопровода

Тейссера-Торнквиста (рис. 1) [9–12]. Она образует линеамент шириной 50–80 км и протяженностью более 2000 км. Геофизическая граница тектонической линии Т-Т проявляется в виде системы нарушений магнитных аномалий северо-западного простирания, сопровождающейся цепочкой отрицательных гравитационных аномалий. В современном рельефе переход через тектоническую границу к Датско-Польскому авлакогену южнее о. Борнхольм практически не выражен, так как верхний этаж осадочного чехла сложен субгоризонтально залегающими отложениями, осложненными в зоне Т-Т только локальными флексурами и складками. Однако в глубоких слоях осадочной толщи и фундамента вдоль зоны региональных разрывных нарушений фундамента по линии Т-Т в пределах Балтийского моря проходит серия сбросов и резкий перепад в глубинах залегания всех стратиграфических горизонтов осадочного чехла и особенно фундамента, для которого перепад составляет от 1,5 до 5 км и более. Здесь предполагается существование открытых «сквозных» разрывов, т. е. разломов, проникающих в осадочный чехол и секущих толщу осадочного чехла. По крутизне наклона поверхно-

сти и амплитуде смещения подавляющее большинство разрывов относится к сбросам средней (сотни метров) и малой (десятки метров) амплитуды. Следы колебательно-ритмических движений отмечены в четвертичном периоде, которые позднее сменились здесь на собственно тектонические колебания [12]. По мнению авторов, скорее всего эти местные колебательные движения унаследованы от прежних, более древних движений, контролируемых долгоживущими разрывными нарушениями и глубинными границами блоков фундамента докембрийского заложения.

В центральной части акватории Балтийского моря существует еще ряд зон тектонических нарушений северо-западного простирания, через которые проходит линия трубопровода «Северный поток» [11, 12]. Все они представляют собой зоны разломов фундамента, которые также могут создавать потенциальную опасность возможной трансформации рельефа дна. Эти разрывные нарушения значительны по амплитуде и протяженности. Амплитуда смещения поверхности фундамента вдоль разломов составляет около 0,5 км. Схема главных разрывных нарушений северо-западного простирания, расположение профилей и трубопровода приведена на рис. 1.

Для того чтобы проследить генезис глубинных процессов, влияющих на рельефообразование дна Балтийского моря, и оценить возможную роль эндогенных процессов в их формировании, проведено исследование глубинного строения земной коры Балтийского моря по измерениям вертикальной составляющей геомагнитного поля вдоль галсов, секущих разрывные тектонические нарушения вблизи линии проектируемого трубопровода. Это позволило выявить характер сочленения западных и восточных сегментов фундамента и оценить глубину проникновения разрывных нарушений для южной и центральной частей акватории.

Профиль по галсам № 82611-89057 проходит из Датско-Польского прогиба через линию Т-Т к северу от о-ва Борнхольм и далее идет на северо-восток до середины о-ва Готланд, где пересекает другие разрывные нарушения северо-западного простирания (рис. 1). Длина профиля составляет более 600 км, что позволило построить геомагнитный разрез до глубины 28 км (рис. 2). Геомагнитный разрез профиля подчеркивает глыбово-блоковую структуру фундамента. Эта структура на рис. 2 проявляется в виде чередующихся блоков разной намагниченности. Линия Т-Т приурочена к области сочленения разных блоков фундамента по зоне нарушений, прослеживающейся до глубины более 20 км. Дорифейский фундамент восточного борта содержит магнитные неоднородности, имеющие чешуйчато-надвиговый характер со значительным углом наклона. Разлом сечет слабомагнитный осадочный чехол, имеющий в центральной части прогиба мощность более 5 км. Крутизна наклона магнитных неоднородностей восточного блока фундамента сохраняется в интервале глубин от 2 до 15 км (рис. 2). Расчеты по Z-составляющей показали, что магнитные образования восточного борта линеамента, расположенные на глубинах 1,5–3,5, 4–7 и 8–12 км, наклонены на юго-запад. Однако анализ показал, что магнитные горизонты, залегающие глубже 15 км, имеют уже почти горизонтальное залегание (рис. 2).

Характеристики неоднородностей западного борта зоны Т-Т в районе Датско-Польского прогиба значительно отличаются от восточного борта линеамента. Этот блок состоит из слабомагнитных и немагнитных образований, которые распространяются до глубин 8–9 км. На глубине около 10 км они подстилаются слабомагнитным горизонтом мощностью от 2 до 3 км, ниже которого залегает однородная область немагнитных образований на глубинах 18–25 км.

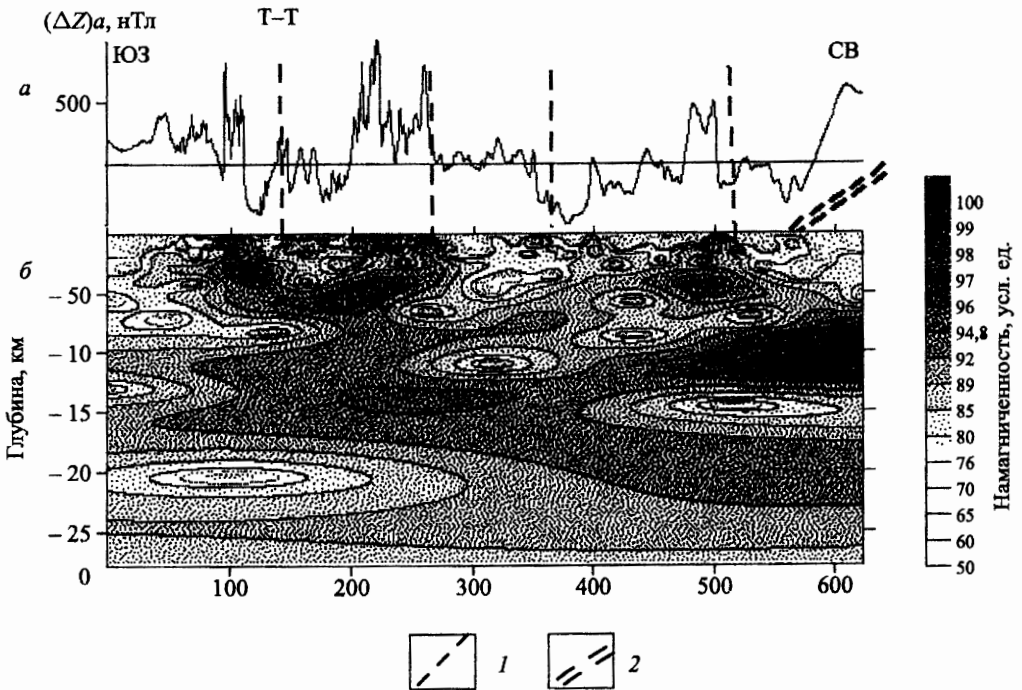


Рис. 2. Глубинный геомагнитный разрез вдоль профиля по галсам № 82611-89057, расположенного севернее о-ва Борнхольм: а — наблюдаемые значения вертикальной компоненты геомагнитного поля (ΔZ_a); б — геомагнитный разрез 1 — тектонические разломы северо-западного простирания; 2 — линия трубопровода

Тектонические разломы центральной части Балтийского моря, пересекаемые галсом № 82611-89057 севернее о-ва Борнхольм (рис. 1, 2) проявляются в разрезе как пограничные зоны контакта геологических образований блоков фундамента, отличающихся по намагниченности в интервале глубин от 2 до 15–18 км. Это означает, что глубина заложения или обновления тектонических нарушений глыбово-блоковой структуры фундамента составляет около 15–18 км. При этом крутизна наклона магнитных неоднородностей разных блоков фундамента близка горизонтальности зоны Т-Т и сохраняется в том же интервале глубин. Вполне вероятно, что такие долгоживущие глубинные разломы, возможно, докембрийского заложения, могут контролировать в зоне стыка местные колебательные движения, т. е. создавать условия трансформации рельефа дна. Южнее о-ва Борнхольм параллельно профилю № 82611-89057 проходят галсы № 90099, 900881-088 и 90087 (см. рис. 1). Они секут линию Т-Т почти вкост простирания, смещаясь в юго-восточном направлении, причем самый южный из них (№ 90087) идет вдоль восточного берега Балтийского моря. Длина этих профилей составляет около 450–500 км, что позволило построить геомагнитные разрезы до глубины 20 км.

Последовательное пересечение зоны линеамента Т-Т с северо-запада на юго-восток выявило изменения характера сочленения западного и восточного бортов линии Т-Т на всем ее простирании в пределах акватории Балтийского моря. Так, например, галс № 90099 (рис. 3) показывает, что, несмотря на сохранение общего характера маг-

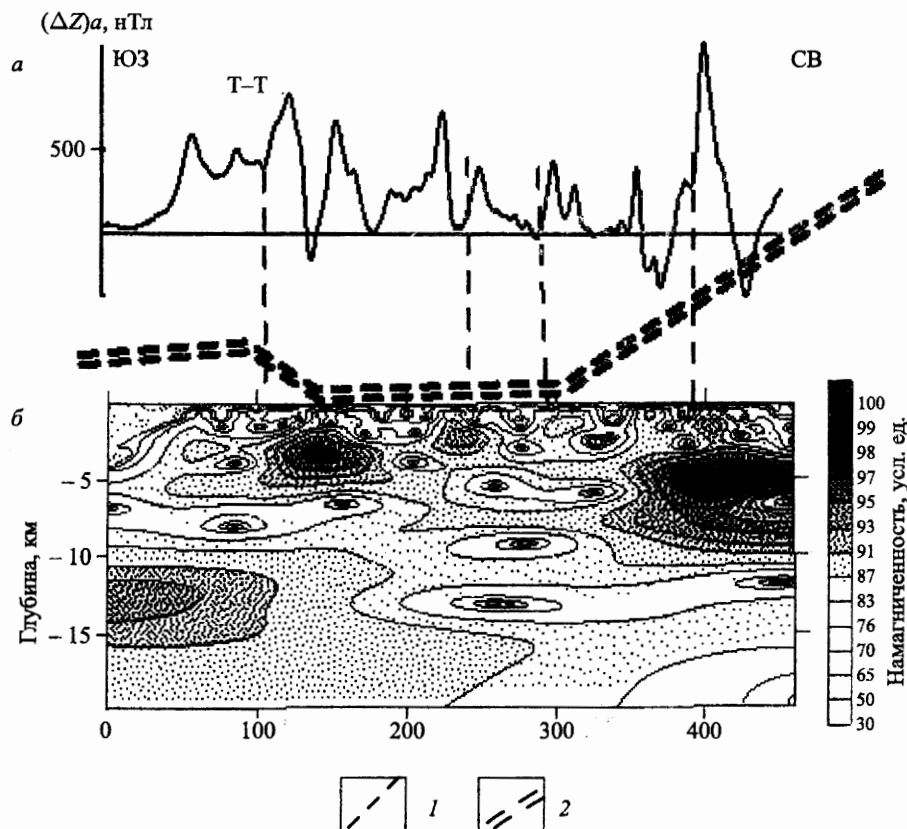


Рис. 3. Глубинный геомагнитный разрез вдоль галса № 90099, расположенного южнее о-ва Борнхольм. Условные обозначения те же, что на рис. 2

нитных неоднородностей блоков фундамента в интервале глубин до 15 км, довольно значительно меняются зоны их сочленения. Помимо этого, просматривается изменение намагниченности пород северной части профиля в низах земной коры. Именно к этой области размагниченных образований приурочен известный максимум ареала теплового потока в Балтийском море [11]. Кроме того, анализ показывает, что в верхней части фундамента сохраняется чешуйчато-надвиговый характер магнитных образований отдельных блоков, стыкующихся по зонам разрывных тектонических нарушений. На глубинах 8–12 км под этими разнородными блоками фундамента находятся слабомагнитные горизонты.

Заключение

Исследование особенностей глубинного строения фундамента и осадочного чехла Балтийского моря показало, что отдельные блоки верхней части фундамента стыкуются по зонам разрывных тектонических нарушений и имеют чешуйчато-надвиговый

характер сочленения, тогда как нижняя часть земной коры характеризуется горизонтальным расположением слоев слабомагнитных образований.

При этом в южной части акватории вдоль линеаamenta Т-Т контакты разных блоков прослеживаются по зоне тектонических нарушений до глубины более 20 км. Западный сегмент зоны Т-Т состоит из слабомагнитных образований. Магнитные образования восточного сегмента расположены на глубинах 3–5, 4–7, 8–12 км и наклонены на юго-запад.

В центральной части акватории тектонические разломы тоже проявляются как пограничные зоны контакта геологических образований блоков фундамента, отличающихся по намагниченности. К западу от Курского залива на глубинах ниже 10–12 км просматривается область размагниченных образований, которая приурочена к известному максимуму теплового потока. Глубина заложения и обновления тектонических нарушений фундамента составляет около 18 км. Крутизна наклона магнитных неоднородностей разных блоков фундамента в этой части акватории аналогична зоне Т-Т.

Долгоживущие глубинные разломы северо-западного простирания контролируют по зонам стыка местные колебательные движения в южной и центральной частях Балтийского моря. Это создает предпосылки для подвижек дна в юго-западном направлении вблизи тектонических нарушений фундамента.

Таким образом, линия трубопровода «Северный поток» пересекает рассмотренные зоны глубинных разломов, которые могут создавать потенциальную опасность трансформаций рельефа дна, обусловленных природными явлениями.

Указатель литературы

1. Лобковский Л. И., Левченко Д. Г., Леонов А. В., Абросимов А. К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. 326 с.
2. Петрова А. А., Демина И. М. Глубинное строение зоны Торнквиста в пределах Балтийского моря по результатам компонентных измерений геомагнитного поля // Материалы 14-й конф. «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными». Петрозаводск, 2008.
3. Касьяненко Л. Г., Лизунова М. М., Голуб Д. П. Гидромагнитная трехкомпонентная съемка Северного моря на НИС «Заря» и ее картографическое представление. Препринт. М.: 1982, 18 с.
4. Demina I., Kaszyanenko L., Sas-Uhrynowski A., Welker E. Atlas of the magnetic maps of the Baltic Sea. Warsaw, 1998.
5. Demina I. Some Result of the Estimation of the Parameters of Magneto-Active Layer on the Bases of Digital Maps of the Geomagnetic Field Components of the Baltic Sea. History of Oceanography // VII International Congress on the History of Oceanography. Kaliningrad 2003. P. 432–434.
6. Петрова А. А. Изучение спектрально-пространственных характеристик аномального магнитного поля континентов и океанов. Л.: Труды ЛОЕ, 1981. С. 70–74.
7. Петрова А. А., Карасик А. М. Статистическая зависимость параметров спектральной структуры магнитного поля от рельефа магнитного фундамента Северного Ледовитого океана // Океанология. 1979. Т. 29. № 3. С. 526–528.
8. Petrova A. A., Kolesova V. I., Domaratskij S. N. The Space-Spectral Analysis Method in Applied Geophysics // Russian Airborne Geophysics and Remote sensing. Coleden, Colorado, 1992. P. 525–534.

9. Голуб Д. П., Сидоров Ю. С. Строение поверхности докембрийского фундамента Балтийского моря (по данным магнитных съемок Э/С «Заря») // Океанология. 1971. Т. 10. Вып. 2. С. 239–244.
10. Guterch A., Grad M., Janic T., Materzok R., Luosto U., Yüneimi J., Luck E., Schultze A., Forste K. Crustal structure of the transition zone between Precambrian and Variscan Europe from new seismic data along LT-7 profile (NW Poland and eastern Germany) // Geophysics. 1994. V. 319. N 10. P. 1489–1496.
11. Островский А. А. Зона древнего рифтообразования под Балтийским морем // ДАН. 1995. Т. 342. № 5. С. 680–685.
12. Анохин В. М., Одесский И. А. Глобальная сеть линейментов и ее связь с разрывными нарушениями. Тектоника и геодинамика континентальной литосферы // Материалы 36-го Тектонического совещания. М., ГЕОС. 2003. С. 12–16.