

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ПЕЧОРСКОЙ ПЛИТЫ ПО ДАННЫМ ГИДРОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК

Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: ura77777@rambler.ru*

Статья поступила в редакцию 29.03.2019, одобрена к печати 29.04.2019

В августе–сентябре 2018 г. в Печорском море во время 38 рейса НИС «Академик Николай Страхов» проводились комплексные геолого-геофизические исследования. Магнитная съемка выполнялась одновременно с сейсмическим профилированием, где в качестве излучателя упругих колебаний использовался электроискровой излучатель «Спаркер». Перед группой морской магнитометрии стояла задача картирования неоднородностей верхней части осадочного чехла, включая выделение зон развития моренных отложений, а также возможных погребенных палеорусел, зон трещиноватости и геологических разрывных нарушений.

В результате выполненной гидромагнитной съемки и интерпретации полученных материалов, было установлено, что спектральный состав аномального магнитного поля (АМП) содержит три частотных компонента, каждой из которых соответствует свой глубинный диапазон источников поля. Опираясь на полученные оценки глубин и на их сравнение с описанием известных скважин, была определена стратиграфическая привязка для выделенных глубинных диапазонов источников магнитного поля.

Высокочастотной составляющей соответствует расположение источников АМП в самой верхней части разреза. Верхние кромки источников лежат в диапазоне глубин от 35 до 70 м, что, вероятно, соответствует отложениям плейстоценового возраста. Не исключено, что источниками этих высокочастотных аномалий могут быть моренные отложения, сформировавшиеся в период последнего валдайского оледенения.

Второй глубинный диапазон сформирован источниками АМП верхние кромки которых расположены в диапазоне глубин 260–510 м, что, вероятно, соответствует стратиграфическому диапазону от верхней юры до нижнего мела.

Третий, выделяемый авторами глубинный диапазон залегания верхних кромок источников АМП определяется по самой низкочастотной части спектра и, по мнению авторов, отражает позднедевонский этап активизации магматизма.

Ключевые слова: Печорская плита, модель магнитоактивного слоя, моренные отложения, магматизм, обратная задача, разделение полей, эффективная намагниченность.

Введение

Печорское море, которое является частью Баренцева моря, имеет свою особую историю развития и обладает своеобразным рельефом и строением осадочной толщи. Район исследований относится к числу нефтегазоносных, поэтому изучение его геологического строения и развития является актуальной задачей и имеет не только фундаментальное, но и практическое значение.

Изучение глубинного строения земной коры для территории Баренцевоморского шельфа началось достаточно давно – особенно активно с середины прошлого века. За это время в северо-восточной части Баренцевоморского шельфа выполнен большой объем геолого-геофизических исследований, главной целью которых являлось прогнозирование нефтегазоносности.

Открытие в конце XX века таких крупных месторождений как Штокмановское, Лудловское, Приразломное и других обусловило необходимость дальнейших комплексных геолого-геофизических исследований Баренцевоморской плиты с целью изучения ее глубинного строения и оценки перспектив углеводородного потенциала этой нефтегазоносной провинции.

Огромные запасы углеводородов, сосредоточенные в этом регионе, имеют для Российской Федерации стратегическое значение. Изменение природных обстановок на арктическом шельфе и по трассе Северного морского пути повышает уровень техногенных угроз при строительстве и эксплуатации различных технических объектов – нефтегазовых платформ, трубопроводов, портовой инфраструктуры и др. Для прогноза развития климатических и опасных природных процессов на арктическом континентальном шельфе Российской Федерации с целью предупреждения и минимизации последствий возможных природных и техногенных катастроф была принята программа Экспертного совета по Арктике и Антарктике при Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 26 июня 2015 г., предусматривающая и геоэкологический мониторинг. (Отчет..., 2018). Начиная с 2000 г. Институтом океанологии РАН им. П.П. Ширшова проводятся систематические морские научные исследования по геолого-геоморфологическому мониторингу арктического шельфа, включающие и Печорское море.

В 38 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» перед группой магнитометрии стояла задача картирования верхнего слоя осадочного чехла, в том числе областей развития моренных отложений. Выделение зон развития моренных отложений с использованием методов магнитометрии хорошо отработана в рамках наземной и аэромагнитометрии (Шакиров, 2015).

Для решения этой задачи в варианте морской магнитной съемки авторами использовалась методика спектрального разделения аномального магнитного поля (АМП) на составляющие, каждой из которых соответствует свой глубинный диапазон источников с последующим решением обратной задачи для каждого глубинного диапазона. В качестве естественных глубинных границ залегания верхних кромок (и нижних кромок для самого верхнего яруса залегания источников аномалий) использовались временные разрезы непрерывного сейсмического профилирования, любезно предоставленные авторам сотрудником Лаборатории сейсмостратиграфии А.Д. Мутовкиным.

Общая характеристика района работ

Главным районом исследований в 38 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» являлась Печорская плита, которая относится к числу платформенных структур палеозойского возраста, сформированных на гетерогенном основании. В границах полигона выделяются фрагменты крупных (первого порядка) тектонических элементов: Малоземельско-Колгуевская моноклираль, Денисовский прогиб, Колвинский мегавал, Хорейверский прогиб (рис. 1).

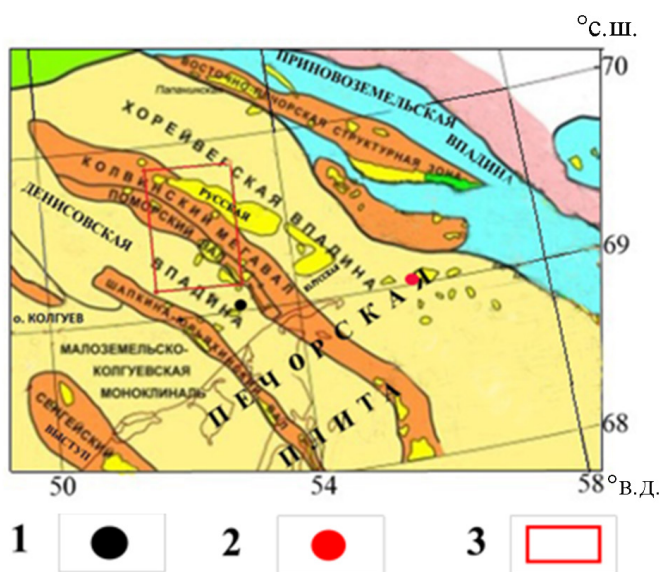


Рис. 1. Фрагмент тектонической схемы Печорского моря (по Шкарубо, Шипилов, 2007):
1 – скважина Поморская; 2 – скважина Пахаченская; 3 – участок работ.

Большинство исследователей считают, что фундамент Печорской плиты представляет собой сочетание различных по величине, глубине залегания и возрасту блоков, причем одна часть которых представлена массивами дорифейской стабилизации (Большеземельский массив), а другая – системами рифтогенных структур. Так, по мнению В.А. Дедеева (Дедеев и др., 1993) и А.П. Боровинских (Боровинских, 2003), синрифтовый комплекс начал формироваться в раннем девоне, а на средний девон приходится этап максимальной активности рифтогенного растяжения коры.

Общий структурный план Печорской плиты определяется условиями залегания палеозойского карбонатного комплекса. Осадочный чехол по данным сейсмических работ и бурения параметрических скважин (Армишев и др., 1988а, 1988б) сложен карбонатными, карбонатно-терригенными, терригенными и, реже, терригенно-вулканогенными формациями палеозойского возраста общей мощностью до 4–6 км и терригенными формациями триасового и юрско-мелового возраста.

Методика анализа магнитного поля

Нами использовано программное обеспечение для обработки морских магнитных данных (построение и анализ карт АМП, решения прямых и обратных магнитометрии, моделирование), являющееся оригинальной разработкой Лаборатории геофизических полей Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН). Первичная обработка измеренных значений модуля МПЗ осуществлялась с помощью многократно использованной и отлаженной технологии, разработанной также в ИО РАН (Иваненко и др., 2012). Эта технология включает в себя набор методик и программных средств, позволяющих оперативно и качественно преобразовать входной поток исходных магнитных и навигационных данных в пригодный для количественной интерпретации материал.

После получения детальных карт магнитных аномалий появляется возможность изучить свойства источников этих аномалий и подобрать адекватные им модели. Из теории потенциала известно, что положение центра (магнитных) масс и магнитный момент источника аномалии по внешнему полю определяются однозначно. Поэтому, проведя с нужной детальностью и точностью измерения магнитной аномалии над изолированным объектом, мы можем определить координаты его центра магнитных масс, а зная его объем, – величину намагниченности слагающих его горных пород.

В использованных нами алгоритмах «Linvers2D» и «Magdepth3D» реализованы как статистический подход к оцениванию глубин до верхних и нижних кромок источников аномалий потенциальных полей (по спектру поля), так и детерминистский (алгоритм т.н. «эйлеровской деконволюции»). В силу того, что первый способ работает в частотной, а другой – в пространственной области, оба они взаимно дополняют и контролируют друг друга. Программы также включают новый оригинальный способ оценивания геометрических параметров сингулярных источников по модулю аналитического сигнала аномалий.

Анализ материалов магнитных исследований

По материалам магнитной съемки на полигоне 1, были построены карта графиков аномального магнитного поля (рис. 2) и карта изодинам (рис. 3).

На полигоне 1 отчетливо выделяются две положительные длиннопериодные аномалии с амплитудой до 120 нТл: одна в его северо-западной части, другая – на юго-востоке полигона, разделенные зоной слабоинтенсивных (до –60 нТл) отрицательных значений (рис. 2 и 3). Характер этих аномалий – их период, форма, интенсивность – свидетельствуют об очевидной глубинной природе их источников, связанных, скорее всего, с глубинными неоднородностями фундамента. Площадь полигона не обеспечивает достаточного покрытия этих аномалий, представленных, скорее всего, фрагментарно по результатам данной съемки. Поскольку очевиден отчетливый ССВ тренд в простирании изодинам АМП, отражающий возможное простирание глубинных структур, а профиля съемки почти ортогональны ему, мы ограничились интерпретацией в двухмерном варианте.

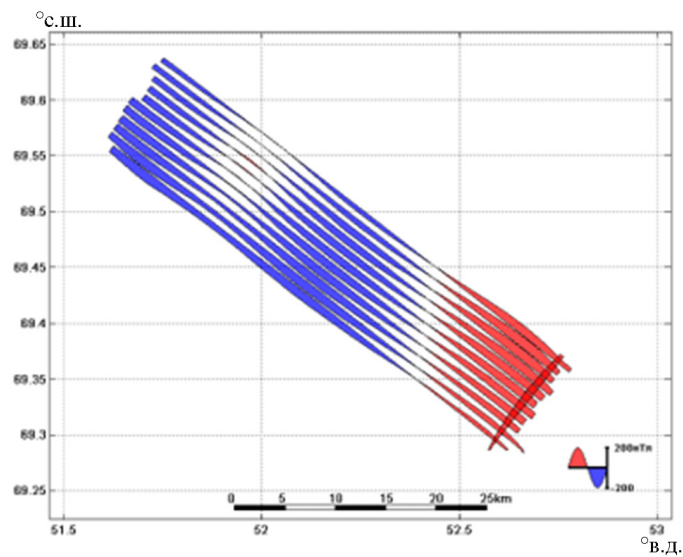


Рис. 2. Карта графиков аномального магнитного поля.

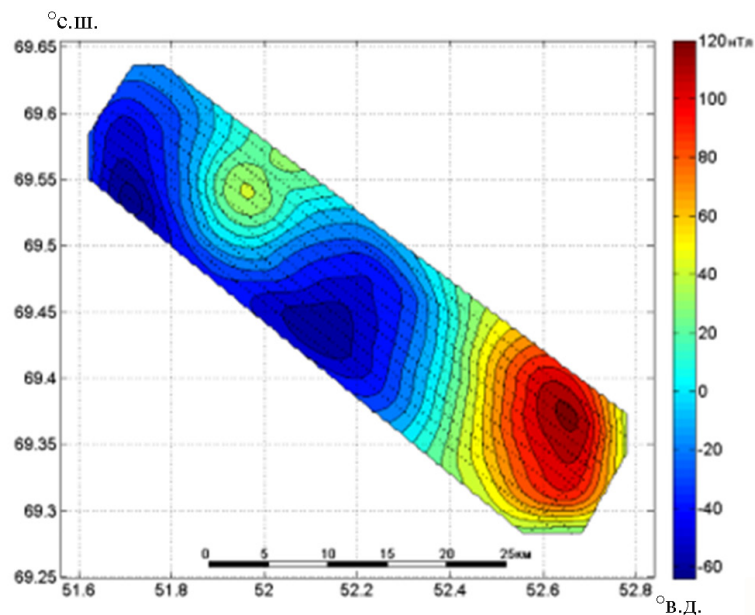


Рис. 3. Карта изодинам аномального магнитного поля.

На этапе интерпретации полученных материалов была выполнена процедура анализа спектра аномального поля (рис. 4), что позволило нам выделить три разноглубинных горизонта залегания источников аномалий, каждому из которых соответствует свой частотный диапазон аномального поля (рис. 5).

Разделение аномалий по глубине проводилось с использованием адаптивного винеровского фильтра с коррекцией амплитуды высоких частот за предельную глубину до источников аномалий из данного выделяемого ансамбля. Пример такого разделения аномального поля для профиля 6, представленного в верхней части рис. 4, показан на рис. 5. Последующая интерпретация велась уже отдельно для каждой из выделенных составляющих аномального поля.

На рис. 6 представлены результаты решения обратной задачи для высокочастотной составляющей аномального поля методом деконволюции Эйлера.

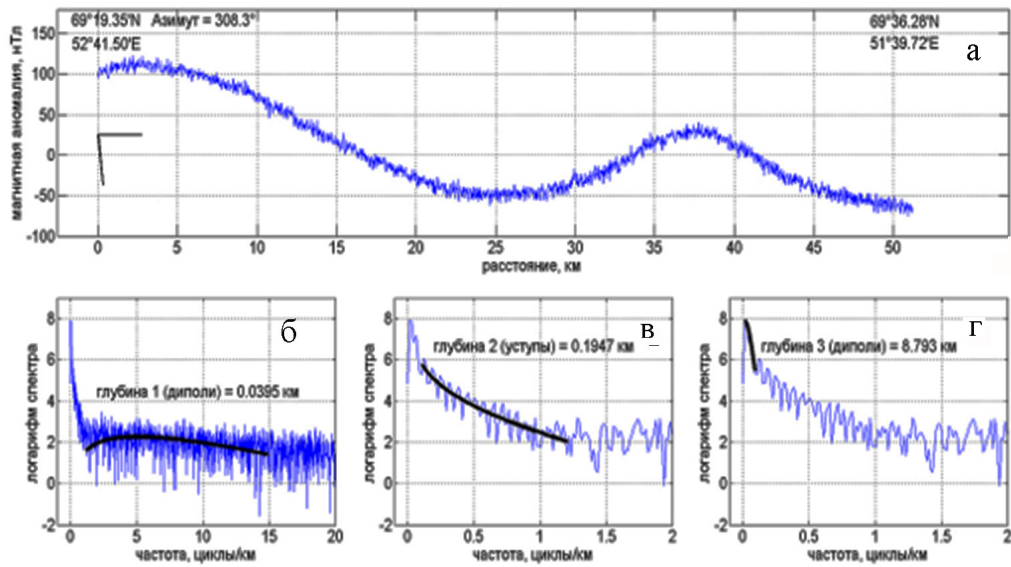


Рис. 4. Анализ спектра АМП: а – АМП по профилю б, б-г – оценка по спектру средней глубины до разноглубинных ансамблей источников аномалий: б – приповерхностных, в – промежуточных, г – глубоких.

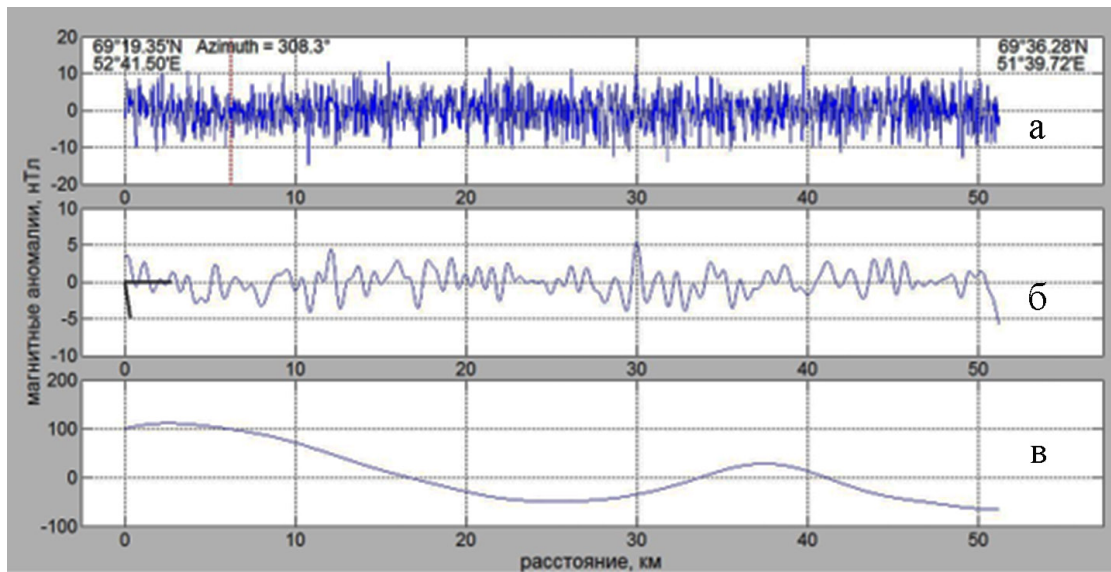


Рис. 5. Частотные составляющие АМП: а – высокочастотная (приповерхностные источники), б – среднечастотная (источники на глубине ~ 200 м), в – низкочастотная (глубинные источники).

Этой составляющей аномального поля соответствует самая верхняя часть разреза, лежащая в диапазоне глубин от 35 м до 70 м. Магнитные аномалии и результаты решения обратной задачи совмещены с данными НСП, выполнявшимися в это же время. Наблюдается отчетливая корреляция плотности распределения источников аномального поля между профилями. Так, наибольшее количество источников поля наблюдается в областях положительных форм рельефа высотой 5–10 м, коррелирующих от профиля к профилю и являющихся аккумулятивными образованиями.

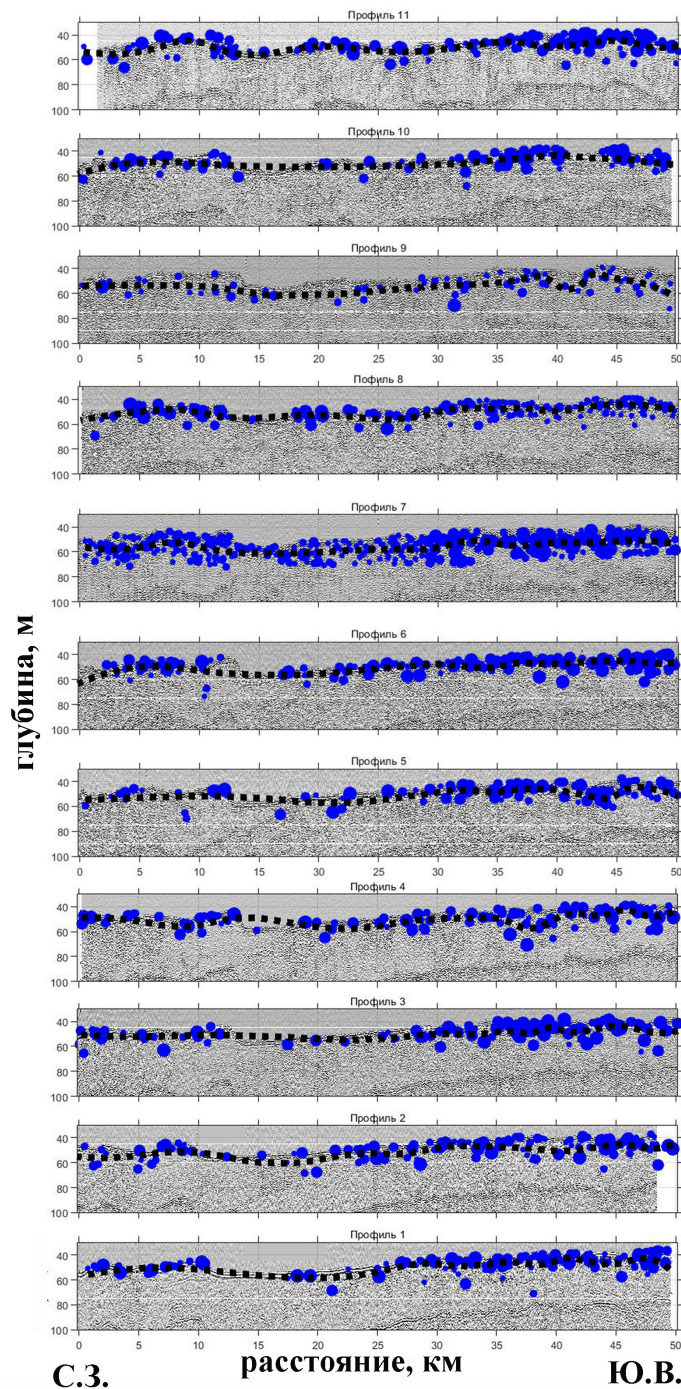


Рис. 6. Положение источников высокочастотных аномалий МП для профилей 1–11: пунктир – средний уровень залегания источников аномалий (диполи), синие кружки – источники аномалий, размеры пропорциональны дипольному моменту источников в диапазоне от 0,1 до $6,3 \times 10^{-4}$ А/м.

ями. В пределах относительного понижения рельефа дна, наоборот, наблюдается значительное уменьшение количества источников поля. На карте средних глубин источников АМП (рис. 7) также видно, что основной диапазон глубин источников поля лежит в пределах 35–55 м и приурочен к положительным формам рельефа. Источники поля, расположенные в диапазоне глубин 55–70 м, приурочены к областям понижения рельефа.

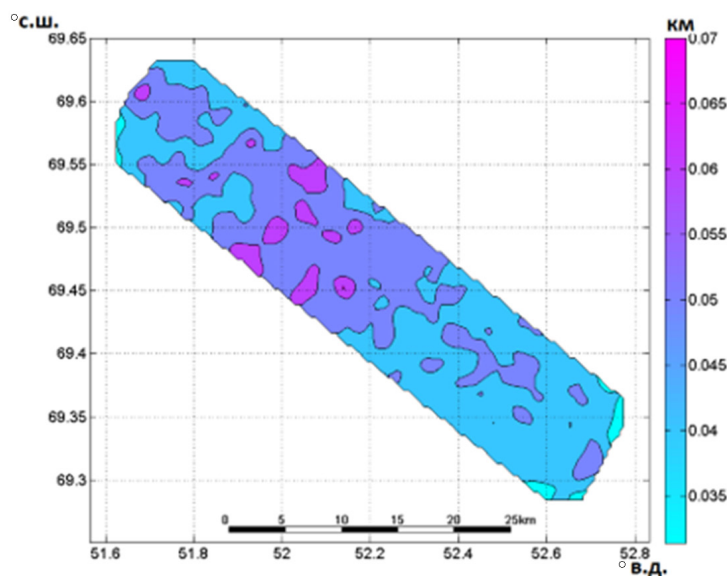


Рис. 7. Карта глубин верхних кромок источников высокочастотных аномалий аномального магнитного поля.

В юго-восточной части полигона, в точке с координатами 69.2784° с.ш. и 52.63801° в.д., дночерпателем был произведен отбор проб грунта, где были подняты моренные отложения, с преобладанием обломков песчаников и гнейсов.

Таким образом, источники АМП, расположенные в диапазоне глубин 35–55 м, и приуроченные к положительным формам рельефа, маркируют положение моренных гряд, вероятно, сформировавшихся в период одной из стадий последнего позднеплейстоценового (валдайского) оледенения. Не исключено, что источники аномалий с большим дипольным магнитным моментом и расположенные в нижней части выделяемого уровня, на глубинах 55–70 м могут маркировать моренные отложения, сформировавшиеся в эпоху предыдущих оледенений плейстоценового возраста, которые имели унаследованное развитие.

Средняя мощность магнитоактивного слоя для высокочастотной составляющей составила 5–10 м, что хорошо согласуется со схемой мощности морских голоценовых отложений в Печорском море (Павлидис и др., 2007).

Решение обратной задачи для второго горизонта показало, что верхние кромки источников АМП, соответствующих этому горизонту, расположены в диапазоне глубин от 260 до 510 м (рис. 8).

Этот диапазон соответствует стратиграфическому диапазону от верхней юры до нижнего мела. По своему составу выделяемая толща представлена преимущественно глинами, глинистыми алевритами, алевритами, песчаниками с прослоями глин, песчаниками с прослоями кварца (Отчет ФГУНПП ..., 2006а) (см. рис. 1). На карте распределения глубин (рис. 8) видно, что верхние кромки источников АМП имеют вытянутую форму и ориентированы в направлении С-Ю. Вопрос о природе второго горизонта остается открытым, потому что, как правило, осадочные породы, представленные в выделяемой нами толще не содержат ферромагнитных минералов. Однако они могли быть обогащены ими в ходе эпигенетических процессов.

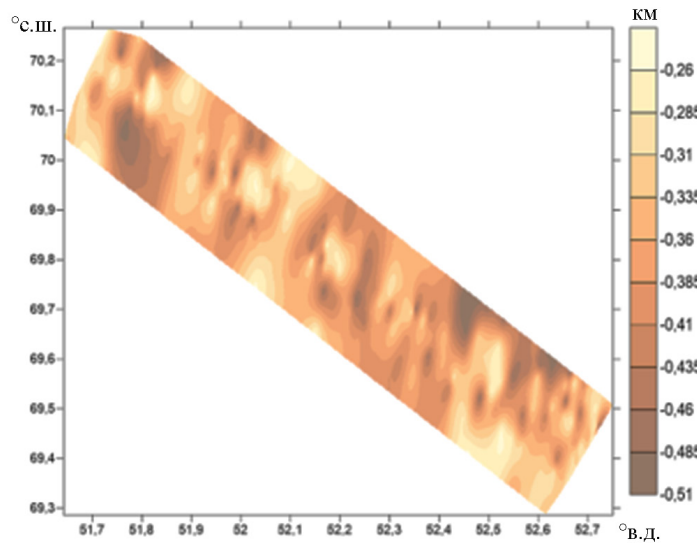


Рис. 8. Карта глубин верхних кромок источников аномального магнитного поля второго горизонта.

На полигоне отчетливо выделяются две глубинные длиннопериодные аномалии СВ простирания. Одна в северо-западной части полигона, другая на юго-востоке полигона. Характер этих аномалий и оценка спектра дают представление о глубинном расположении источников поля. Для оценки количественных характеристик источников АМП для обеих аномалий было выполнено решение обратной задачи в формате 2.5D (Соопер, 1997).

Решение обратной задачи позволило создать модель, представленную двумя отдельными изолированными источниками магнитных аномалий, расположенных в немагнитной среде (осадочном чехле) (рис. 9).

Источник АМП для аномалии в северо-западной части представлен изолированным объектом с шириной вдоль секущего его профиля около 10 км, верхняя кромка определяется на глубине около 4 км. Нижняя кромка определяется на глубине 10–10.5 км. Величина эффективной намагниченности составила 0.45 А/м.

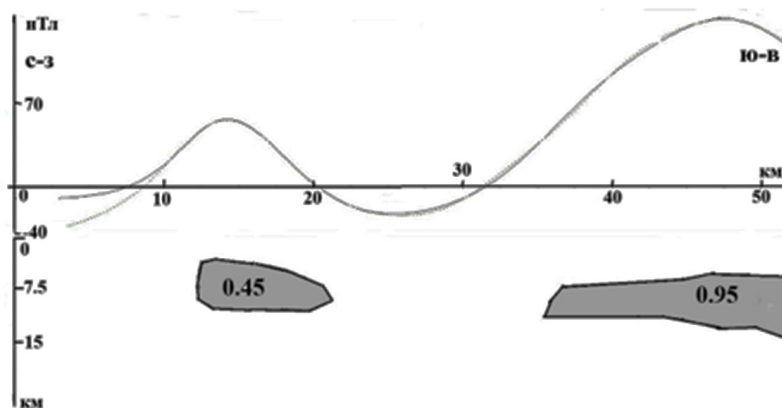


Рис. 9. Модель источников магнитных аномалий для района исследований.

Источник АМП, аппроксимирующий аномалию в юго-восточной части профиля имеет более сложную форму. Верхние кромки меняются от 4.5 до 5.5 км. Нижние кромки меняются от 12 до 10 км. Величина эффективной намагниченности составила 0.95 А/м.

Сравнив описание скважины Пахаченская-1 с глубинами верхних кромок, было отмечено, что стратиграфический диапазон осадочных образований, вмещающих верхние кромки, включает в себя осадочные отложения силурийско-позднедевонского времени (Отчет ФГУНПП..., 2006 б) (см. рис.1).

В позднедевонское время началось зарождение новой системы рифтогенных прогибов, когда на всем обрамлении Баренцева моря проявилась активизация основного магматизма и возникла новая система тектонической мегатрещиноватости. Возникла новая система глубинных разломов СВ ориентации, к которым приурочены вулканы (Отчет..., 2018), (Верба и др., 1986)

Выделяемые авторами источники АМП могут быть связаны с позднедевонской стадией активизации магматизма и являться разрывными нарушениями, по которым происходило внедрение магматитов, что не противоречит геолого-геофизическим моделям, созданным сотрудниками ФГУНПП «Севморгео».

Участие в экспедиционных работах выполнялось в соответствии с государственным заданием №№ 0149-2019-0006. Интерпретация материалов и подготовка статьи были выполнены при поддержке гранта РФФИ №18-05-00316.

Заключение

Выполненные исследования показали эффективность морской магнитной съемки при решении задач изучения строения осадочного чехла. Используя процедуру разделения АМП и анализируя по отдельности каждую из выделенных его компонент, авторы выделили три основных глубинных горизонта, к которым приурочены источники магнитных аномалий.

Высокочастотной составляющей соответствует расположение источников АМП в самой верхней части разреза. Верхние кромки источников лежат в диапазоне глубин от 35 до 70 м, что, вероятно, соответствуют отложениям плейстоценового возраста. Не исключено, что источниками этих высокочастотных аномалий могут быть моренные отложения, сформировавшиеся в период последнего валдайского оледенения.

Второй глубинный диапазон сформирован источниками АМП верхние кромки которых расположены в диапазоне глубин 260–510 м, что вероятно соответствует стратиграфическому диапазону от верхней юры до нижнего мела.

Третий, выделяемый авторами, глубинный диапазон залегания верхних кромок источников АМП определяется по самой низкочастотной части спектра и, по мнению авторов, отражает позднедевонский этап активизации магматизма.

Для всех горизонтов подобраны адекватные модели источников поля. Сравнение полученных оценок с описанием разрезов скважин позволило определить стратиграфическую привязку для каждого глубинного диапазона источников АМП.

Литература

- Армишев А.М., Борисов А.В., Бро Е.Г., Верба М.Л., Остистый Б.К., Сороков Д.С., Устинов Н.В., Шимараев В.Н. Геологическое строение Западно-Арктической континентальной окраины по данным геофизических наблюдений и глубокого бурения // Геология морей и океанов (доклады советских геологов). ВНИИ Океангеология. 1988а. С. 195–204.
- Армишев А.М., Бро Е.Г., Десятков В.М. Результаты испытания параметрических скважин на островах // Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа (по материалам бурения на море и островах). Л.: Изд. ПГО Севморгеология, 1988б. С. 25–41.
- Верба М.Л., Павленкин А.Д., Тулина Ю.В. Глубинная геологическая структура шельфа Баренцева моря (по данным ГСЗ-82) // Неоднородности глубинного строения земной коры океанов. Л.: Изд. ПГО Севморгеология, 1986. С. 75–88.
- Боровинских А.П. Геодинамика и нефтегазоносность (на примере Тимано-Печорского НГБ и смежного арктического шельфа) // Актуальные научно-технические проблемы развития геолого-геофизических и поисковых работ на нефть и газ в республике Коми. Кн. 3. Ухта: КРО РАЕН, 2003. С. 8–40.
- Дедеев В.А., Аминов Л.З., Малышев Н.А., Пименов Б.А., Княжин С.Л. Рифтогенез и нефтегазоносность северо-востока Европейской платформы // Рифтогенез и нефтегазоносность. М.: Наука, 1993. С. 51–59.
- Иваненко А.Н., Брусиловский Ю.В., Филин А.М., Шишкина Н.А. Современные технологии обработки и интерпретации магнитных данных при поиске нефти и газа на акваториях // Геофизика. 2012. № 3. С. 60–70.
- Отчет 38-го рейса НИС “Академик Николай Страхов”. Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт Океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук. Архив. М.: Институт океанологии, 2018. 69 с.
- Отчет ФГУНПП «Севморгео» Глубинное строение Баренцево-Карской плиты на основе результатов комплексных геофизических (сейсморазведочных МОВ-ОГТ, КМПВ-ГСЗ, гравиметрических, магнитометрических) исследований на опорных профилях // Книга 4 Геологическое строение осадочного чехла в полосе профиля 3-АР. Приложение 4. Литолого-стратиграфический разрез скважины Поморская-1. Санкт-Петербург: 2006. С. 90–96.
- Отчет ФГУНПП «Севморгео» Глубинное строение Баренцево-Карской плиты на основе результатов комплексных геофизических (сейсморазведочных МОВ-ОГТ, КМПВ-ГСЗ, гравиметрических, магнитометрических) исследований на опорных профилях // Книга 4 Геологическое строение осадочного чехла в полосе профиля 3-АР Приложение 6. Литолого-стратиграфический разрез скважины Пахаченская-1. Санкт-Петербург: 2006. С. 90–96.
- Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л., Огородов С.А., Тарасов Г.А. Печёрское море: Прошлое, настоящее и будущее // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 927–939.
- Шакиров А.Э. Магнитометрические исследования ледников Южный и Северный Энилчек (Иныльчек) в районе озера Мерцбахера // Лёд и снег. 2015. № 2. С. 42–52.
- Шкарубо С.И., Шитилов Э.В. Тектоника Западно-Арктической платформы // Разведка и охрана недр. 2007. № 9. С. 32–47.
- Cooper G.R.J. Forward modelling of magnetic data. Computers & Geosciences. 1997. Vol. 23 (10). P. 1125–1129.

GEOLOGICAL HETEROGENEITY OF A SEDIMENTARY COVER OF THE PECHORA PLATE ACCORDING TO HYDROMAGNETIC SURVEY

Brusilovsky Yu.V., Ivanenko A.N.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: ura77777@rambler.ru
Submitted 29.03.2019, accepted 29.04.2019*

In August–September, 2018 in the Pechora Sea during the 38th flight of NIS “Academician Nikolay Strakhov” complex geologic-geophysical researches were conducted. Magnetic survey was carried out along with seismic profiling where as the radiator of elastic fluctuations the electrospark Sparker radiator was used. The group of a sea magnetometry was faced by a problem of mapping of the top layer of a sedimentary cover, including allocation of zones of development of thin deposits, buried paleochannels, zones of jointing and geological explosive violations.

Hydromagnetic survey and interpretation of the received materials was as a result executed that allowed to estimate spectral structure of the abnormal magnetic field (AMF) and to allocate three frequency components to which there corresponds the deep range of sources of the field. Leaning on the received estimates of depths, and comparing them to the description of wells, also temporary bindings for the allocated deep ranges of sources of magnetic field were defined.

High-frequency component, there corresponds the arrangement of sources of AMF in the topmost part of a section. The top edges of sources lie in the range of depths from 35 to 70 m that possibly correspond to deposits of pleystotsenovoy age. It is possible that the thin deposits created during the last Valdai freezing can be sources of these high-frequency anomalies.

The second deep range is created by sources of AMF the top edges of which are located in the range of depths of 260–510 m that possibly corresponds to stratigrafichesky range from top Yura to the lower chalk.

The third, the deep range of bedding of the top edges of sources of AMF allocated by authors is determined by the most low-frequency part of a range and according to authors reflects the late Devonian stage of activization of magmatism.

Keywords: Pechora plate, model of a magnetoactive layer, thin deposits, magmatism, return problem, division of fields, effective magnetization.

References

- Armishhev A.M., Borisov A.V., Bro E.G., Verba M.L., Ostistyy B.K., Sorokov D.S., Ustinov N.V., and Shimarayev V.N.* Geologicheskoye stroyeniye Zapadno-Arkticheskoy kontinentalnoy okrainy po dannym geofizicheskikh nablyudeniyy i glubokogo bureniya. Geologiya morey i okeanov (doklady sovetских geologov). Leningrad: VNII Okeangeologiya, 1988a, pp. 195–204.
- Armishhev A.M., Bro E.G., and Desyatkov V.M.* Rezultaty ispytaniya parametricheskikh skvazhin na ostrovakh. Neftegazonosnost Barentsevo-Karskogo shelfa (po materialam bureniya na more i ostrovakh), Leningrad: PGO Sevmorgeologiya, 1988b, pp. 25–41.
- Borovinskikh A.P.* Geodinamika i neftegazonosnost (na primere Timano-Pechorskogo NGB i smezhnogo arkticheskogo shelfa). – V kn.: Aktualnyye nauchno-tekhnicheskiye problemy razvitiya geologo-geofizicheskikh i poiskovykh rabot na nefi i gaz v respublike Komi, Kn. 3, Ukhta: KRO RAYeN, 2003, pp. 8–40.

- Cooper G.R.J. Forward modelling of magnetic data. *Computers & Geosciences*, 1997, Vol. 23 (10), pp. 1125–1129.
- Dedeyev V.A., Aminov L.Z., Malyshev N.A., Pimenov B.A., and Knyazhin S.L. Riftogenez i neftegazonosnost severo-vostoka Evropeyskoy platformy. – V kn.: Riftogenez i neftegazonosnost, Moskva: Nauka, 1993, pp. 51–59.
- Ivanenko A.N., Brusilovskiy Yu.V., Filin A.M., and Shishkina N.A. Sovremennye tekhnologii obrabotki i interpretatsii magnitnykh dannykh pri poiske nefti i gaza na akvatoriyah. *Geofizika*, 2012, No. 3, pp. 60–70.
- Otchet 38-go reysa NIS "Akademik Nikolay Strakhov"*. Federalnoye Gosudarstvennoye Byudzhetnoye Uchrezhdeniye Nauki Institut Okeanologii im. P.P. Shirshova Rossiyskoy Akademii Nauk. Moscow: Shirshov Institut of Oceanology, 2018, 69 p.
- Otchet FGUNPP «Sevmorgeo»*. Glubinnoye stroyeniye Barentsevo-Karskoy plity na osnove rezultatov kompleksnykh geofizicheskikh (seysmorazvedochnykh MOV-OGT. KMPV-GSZ. gravimetricheskikh. magnitometricheskikh) issledovaniy na opornykh profilyakh. Kniga 4 Geologicheskoye stroyeniye osadochnogo chekhla v polose profilya 3-AR, Prilozheniye 4, Litologo-stratigraficheskiy razrez skvazhiny Pomorskaya-1, Sankt-Peterburg: 2006. pp. 90–96.
- Otchet FGUNPP «Sevmorgeo»*. Glubinnoye stroyeniye Barentsevo-Karskoy plity na osnove rezultatov kompleksnykh geofizicheskikh (seysmorazvedochnykh MOV-OGT. KMPV-GSZ. gravimetricheskikh. magnitometricheskikh) issledovaniy na opornykh profilyakh. Kniga 4 Geologicheskoye stroyeniye osadochnogo chekhla v polose profilya 3-AR Prilozheniye 6, Litologo-stratigraficheskiy razrez skvazhiny Pakhachenskaya-1, Sankt-Peterburg: 2006. pp. 90–96.
- Pavlidis Yu.A., Nikiforov S.L., Ogorodov S.A., and Tarasov G.A. Pecherskoye more: Proshloye. nastoyashcheye i budushcheye. *Okeanologiya*, 2007, Vol. 47, No. 6, pp. 927–939.
- Shakirov A.E.H. Magnitometricheskie issledovaniya lednikov YUzhnyj i Severnyj EHnilchek (Inyl'chek) v rajone ozera Mercbahera. *Lyod i sneg*, 2015, No. 2, pp. 42–52.
- Shkarubo S.I. and Shipilov E.V. Tektonika Zapadno-Arkticheskoy platformy. *Razvedka i okhrana nedr*, 2007, No. 9, pp. 32–47.
- Verba M.L., Pavlenkin A.D., and Tulina Yu.V. Glubinnaya geologicheskaya struktura shelfa Barentseva morya (po dannym GSZ-82). Neodnorodnosti glubinnogo stroyeniya zemnoy kory okeanov, Leningrad: PGO Sevmorgeologiya, 1986, pp. 75–88.