

УДК 551.462.32

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ 25-ГО РЕЙСА НИС “АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ” НА СЕВЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

© 2009 г. А. В. Зайончек, А. О. Мазарович, В. Ю. Лаврушин, С. Ю. Соколов, М. Д. Хуторской, А. С. Абрамова, Р. Х. Алиулов, В. Р. Ахмедзянов, Ю. А. Зарайская, А. В. Ермаков, В. Н. Ефимов, Е. А. Мороз, А. А. Пейве, Д. А. Прохоров, Э. П. Радионова, Ю. Н. Разницын, А. А. Разумовский, А. А. Черных, К. П. Ямпольский

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 30.07.2008 г.

Поступило 16.09.2008 г.

В рамках “Полярного года”, с 29 августа по 18 сентября 2007 г., на севере Баренцева моря и на континентальном склоне Северного Ледовитого океана (78°–82° с.ш. и 30°–55° в.д.) был проведен 25-й рейс нис “Академик Николай Страхов” Геологического института РАН (начальник экспедиции А.В. Зайончек) (рис. 1). Рейс выполнял задачи фундаментальных исследований в рамках программ Президиума РАН “Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы” и “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология” (проект “Сравнительное изучение эволюции и современной структуры континентальных окраин Восточной Атлантики и Арктики”), а также программы ОНЗ РАН “История формирования бассейна Северного Ледовитого океана и режим современных природных процессов Арктики”. Во время экспедиции работала гидроакустическая система RESON (программно-аппаратурный комплекс SeaBat 81), которая включает мелководный и глубоководный многолучевые эхолоты. Помимо этого проводилась съемка дна акустическим профилографом EdgeTech 3300 и комплексом оборудования для проведения непрерывного сейсмического профилирования (НСП) разработки ГИН РАН. Станционные работы включали измерения теплового потока и скорости звука, опробование верхней части осадочного чехла трубками и драгирование. Геотермические работы в рейсе выполнялись с помощью нового зонда “ГЕОС-М”. Измерения теплопроводности проводились в кернах осадков, извлеченных с помощью грунтовой трубки.

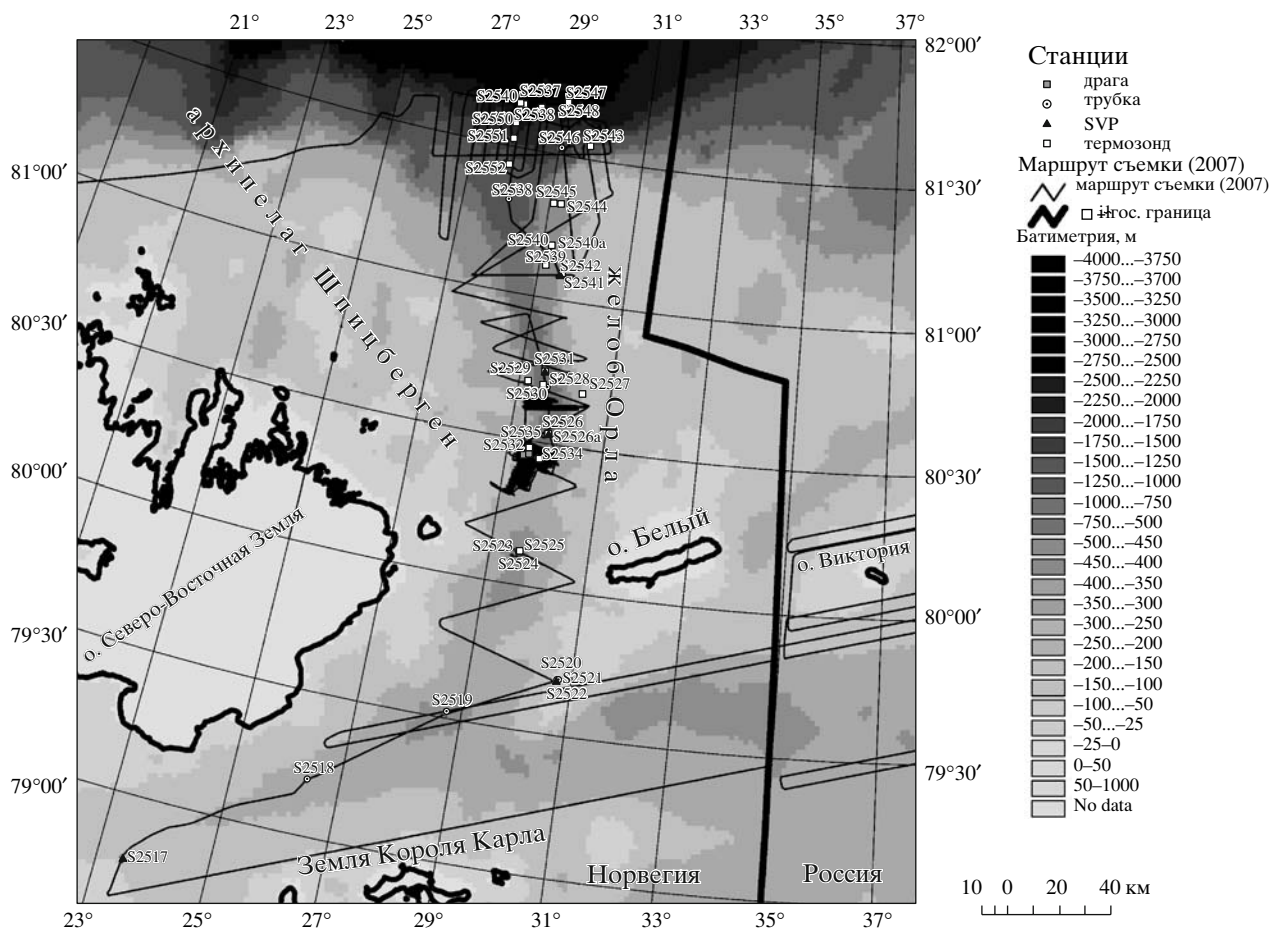
Работы были проведены как в российском, так и в норвежском секторах Баренцева моря. В первом отработан ряд региональных профилей южнее и западнее архипелага Земля Франца-Иосифа, а также осуществлена высадка геологического отряда на о. Гукера, во втором – осуществлено картирование полигона в желобе Орла [1] и проведены рекогносцировочные профили. Ледовая обстановка в Северном Ледовитом океане позволила проводить работы до 82° с.ш. В результате сделан ряд профилей, которые пересекли почти весь континентальный склон до абиссальных глубин.

С геологической точки зрения район работ малоизучен. В акватории ранее были проведены только редкие маршрутные исследования (см., например, [5]) и обследованы доступные разрезы на архипелагах Шпицберген и Земля Франца-Иосифа (далее ЗФИ) [1, 3, 4, 8, 9]. Также мало изучены процессы четвертичного осадконакопления на севере Баренцева моря. Предполагается [6], что здесь развиты комплексы, сопоставимые с его центральными частями. Там наиболее древние толщи сложены мореной, выше которой следуют три горизонта морских постледниковых отложений.

Измерение теплового потока в регионе не проводилось, однако за основу моделирования принимаются значения, близкие к среднему фону [2].

Общие закономерности строения рельефа севера Баренцева моря хорошо известны [www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/]. Здесь расположен ряд пологих поднятий (Персея, Короля Карла и др.), которые разделены субширотными (Эрик-Эриксен, Короля Карла и др.) и субмеридиональными (Орла, Франц-Виктория, Св. Анна) желобами. В последних глубины превышают средние значения, достигая 450 м.

По данным карты ИВСаО [www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/], трог Орла огибает о. Се-



**Рис. 1.** Схема работ 25-го рейса нис “Академик Николай Страхов” на севере Баренцева моря и на континентальном склоне Северного Ледовитого океана. Топографическая основа – Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана (IBCAO – [www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/)).

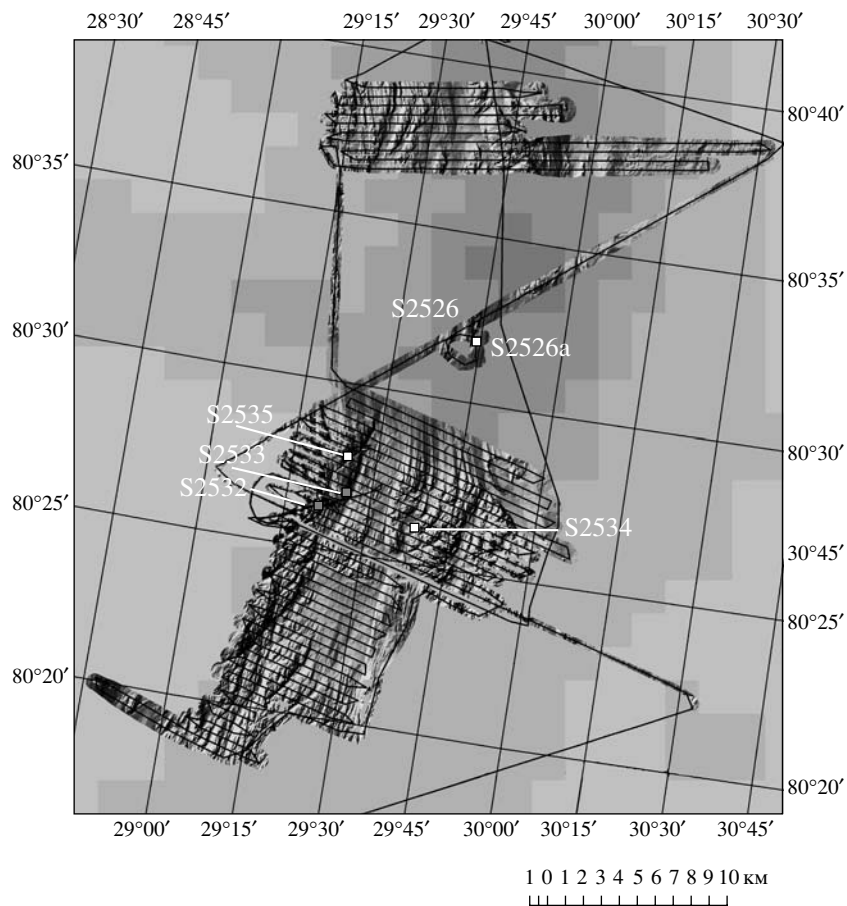
веро-Восточная Земля архипелага Шпицберген и на юге соединяется с желобом Эрик-Эриксен, а на севере “открывается” в сторону континентального склона. Для желоба характерны выровненные участки дна с глубинами порядка 300 м. Они разделены пологими порогами с глубинами около 200 м. В целом для южной части желоба характерны меньшие глубины, чем для северной. Сужение долины и ее углубление происходит в районе 80°30' с.ш.

Проведенные нами работы показали, что желоб имеет сложную морфологию (рис. 2). На самом юге полигона он имеет асимметричное строение с более крутым западным бортом, глубины на поверхности которого составляют 60–80 м. Вдоль него проходит наиболее погруженная часть дна с глубинами 420–440 м, которая в отдельных впадинах увеличивается до 460–480 м. Ее ширина изменяется от 2 до 4–5 км. Таким образом, в отличие от карты ИВСаО данные батиметрической съемки показали большие значения глубин.

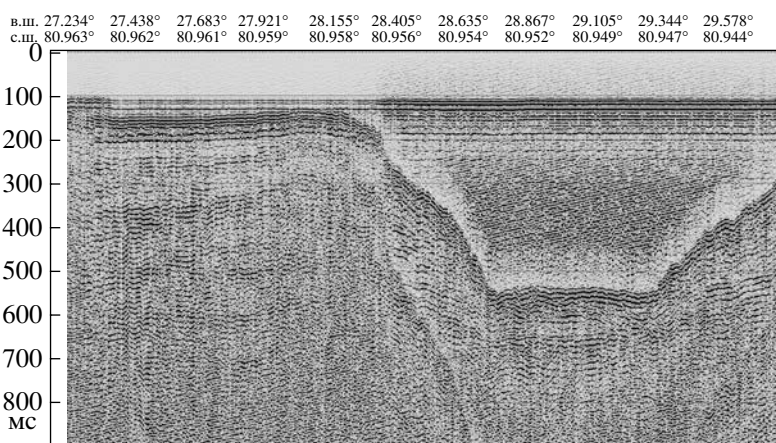
По данным НСП и профилографа (рис. 3), в акустическом фундаменте существуют полуграбены, ограниченные на западе сбросами с амплитудой порядка 200–250 м, которые выражены также и в современном рельефе. На 26 км южнее полигона, примерно на траверзе о. Белый, измерен тепловой поток, который оказался аномально высоким – около 340 мВт/м<sup>2</sup>. Значения, ранее измеренные во время рейса на 7 станциях западнее и юго-западнее ЗФИ, составляли от 30 до 97 мВт/м<sup>2</sup>.

В районе 80°25' с.ш. желоб перегораживается порогом, происходит его резкое сужение (до 400–500 м) и вдоль западного борта проходит канал, протяженность которого достигает 6 км. Здесь же возрастает расчлененность акустического фундамента, который превращается в систему горстов и грабенов, которая прослеживается до северной рамки полигона.

На севере полигона ширина трога Орла увеличивается (до 10 км). В отличие от более южных участков максимальные глубины дна (460–480 м) располагаются около восточного борта. В плане



**Рис. 2.** Оттененный рельеф желоба Орла и схема работ 25-го рейса нис “Академик Николай Страхов”. Топографическая основа (IBCAO – [www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/)) (см. рис. 1). Цифры – номера станций.



**Рис. 3.** Профиль НСП через желоб Орла вдоль 80.963° с.ш.

общая конфигурация желоба имеет значительное сходство с речной долиной, в которой в главное русло впадает много притоков. Они разделены холмами или их группами, которые вытянуты вдоль простираня желоба. Глубины на их вер-

шинах располагаются в диапазоне 180–200 м. Абсолютная высота может достигать 250 м. Для холмов характерны более крутые южные склоны, которые, как правило, шире северных, в плане они имеют каплевидную форму. Все особенно-

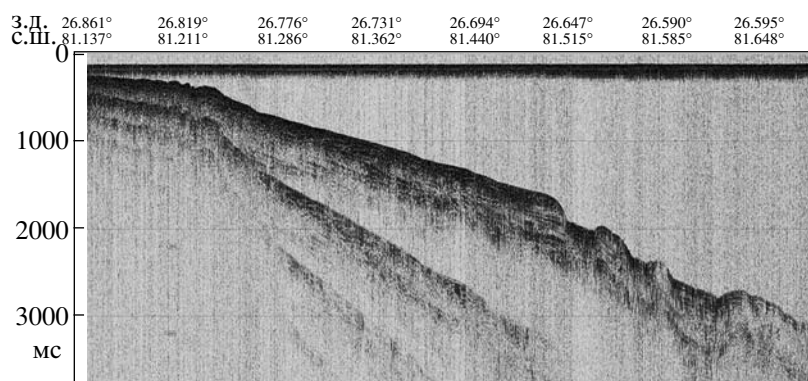


Рис. 4. Профиль НСП через континентальный склон вдоль 26.9° в.д. между 81.14° и 81.67° с.ш.

сти строения дна полигона свидетельствуют о существовании сильных северных придонных течений, которые обеспечивают возникновение эрозионных форм рельефа. Измеренный тепловой поток в пределах полигона имеет повышенные значения – около 330 мВт/м<sup>2</sup>, от 280 до 520 мВт/м<sup>2</sup>.

Севернее полигона на 12–13 км, в районе 80°38′ с.ш., желоб был отснят системой из 10 галсов. Здесь участки дна с наибольшими глубинами (460–490 м) тяготеют к восточному борту, наименьшие глубины которого составляют 180–200 м. При этом общие закономерности рельефа дна и акустического фундамента сходны с более южными районами. В районе 80°37′ с.ш., по данным профилографа, на бортах трога наблюдается несколько грабен. Амплитуды смещений по разломам достигают 30–100 м.

Северная часть трога, вплоть до его выхода на шельф, была отснята системой редких галсов, которая показала, что трог в районе 81°–81°15′ с.ш. приобретает U-образный профиль с максимальными отметками глубин до 500–600 м. В акустическом фундаменте существует четко выраженный грабен. Севернее, на шельфе и континентальном склоне желоб вырождается. В процессе съемки трога Орла обнаружилось несовпадение данных карты ИВСАО севернее 80°30′ с.ш. и реального эхолотного промера. Как показали отдельные галсы, существует смещение морфоструктуры на восток не менее чем на 10–15 км.

В области перехода от шельфа к котловине Нансена, севернее 81°30′ с.ш. была сделана серия субпараллельных профилей, расположенных вкрест простирания бровки шельфа. Здесь на расстоянии порядка 35 км происходит резкое нарастание глубин от 200 до 2500 м и более. На континентальном склоне, особенно в западной части отснятого района, до глубины 2400–2500 м широко развиты крупные оползневые тела (рис. 4). На востоке преобладают крупные прямолинейные борозды. Измеренный тепловой поток в пределах

шельфа имеет значения около 100 мВт/м<sup>2</sup>, у основания континентального склона 53 мВт/м<sup>2</sup>.

Ряд региональных субширотных профилей был сделан южнее ЗФИ. Здесь шельф Баренцева моря представляет собой систему пологих поднятий и депрессии с глубинами 300–400 м. Характерно наличие многочисленных борозд выпаживания айсбергами, которые прослеживаются повсеместно до глубин ~300 м, их глубина достигает 6–8 м.

Исследования литологического состава рыхлых осадков включали в себя литологическое описание керна, определения влажности и карбонатности. Особое внимание уделялось анализу вариаций значений *Eh* и рН, а также исследованию химического состава иловых вод и поровых газов.

Было установлено, что, как и в других частях Баренцева моря, разрез четвертичных осадков на северной периферии бассейна почти повсеместно имеет трехчленное строение [6, 7]. Верхний комплекс (голоценовый) представлен алевритами и часто содержит трубки полихет и примазки гидротроилита. Средний (комплекс поздней стадии дегляциации) сложен тонкослоистыми или однородными полужидкими пелитовыми илами. Нижний комплекс (водно-ледниковый или моренный диамиктон) – плотными темно-серыми вязкопластичными тяжелыми суглинками с высоким содержанием песчаного и гравийно-валунного материала. На субширотном профиле ЗФИ–Шпицберген окраска осадков второго и третьего горизонтов в западной части профиля становится более светлой. Одновременно в горизонтах ранней и поздней стадий дегляциации увеличивается содержание карбонатов (до 35 и до 3.5% CaCO<sub>3</sub> соответственно). Это связано с поступлением обломочного карбонатного материала со Шпицбергена.

Наиболее сильные изменения мощности и литологического состава отмечены в осадках второго горизонта. Этот комплекс обнаруживается только в осевых частях трогов на глубинах более 300 м. Слоистость этого слоя лучше всего выра-

жена в осадках проливов ЗФИ (глубины моря более 300–350 м). В западном направлении мощность горизонта снижается, а сами илы становятся более однородными. В трог Орла мощность этого горизонта сильно редуцирована (варьирует от 10–15 до 100 см). В отличие от района ЗФИ здесь он представлен однородными пелитовыми илами и отделяется от вышележащих голоценовых илов только по характерной полужидкой консистенции и слабой карбонатности.

Предполагается [6], что тонкослоистая структура горизонта поздней стадии дегляциации связана с поступлением большого количества тонко взвешенного материала во время таяния ледникового покрова (9–13.5 тыс. лет назад). Полученные нами данные показывают, что основным источником тонковзвешенного материала на северной периферии моря были ледники ЗФИ. Здесь мощность этих слоев больше и лучше выражена слоистость. Вынос взвесей с северо-восточного побережья Шпицбергена был, по-видимому, существенно меньше. В связи с этим наблюдаемая субширотная изменчивость литологического состава второго горизонта может отражать естественную латеральную изменчивость литологического состава илов по мере удаления от источников сноса (ледников ЗФИ).

Однако это не единственная интерпретация полученных данных. Аналогичная изменчивость мощности и литологического состава второго комплекса может быть и следствием интенсивного вспахивания айсбергами рыхлых осадков. Очевидно, что наиболее активно эти процессы происходили не в голоцене, а ранее – на этапе деградации ледового покрова. При вспахивании происходило интенсивное перемешивание осадков второго горизонта, залегающих на небольших глубинах. Поэтому исходная структура осадка с хорошо выраженной слоистостью сохранялась только на переуглубленных участках троговых долин.

Исследования хлорности иловых вод показали, что в илах второго и третьего горизонтов концентрация  $Cl^-$  на 1.0–1.5 г/л ниже, чем в покровных илах голоценового возраста. Это указывает на небольшое опреснение северной периферии бассейна Баренцева моря во время деградации ледникового покрова.

Измерения  $Eh$  показали, что в осадках доминируют слабо- и резковосстановительные обстановки ( $Eh$  от –100 до +100 мВ), при которых проходят процессы биогенной сульфат-редукции. Несмотря на общий пониженный фон значений  $Eh$ , отмечаемый во всех комплексах осадков, отложения второго и третьего горизонтов отличаются от илов голоценового возраста чуть более высокими  $Eh$  (на 20–30 мВ). Это косвенно указывает на меньшее содержание в них органических остатков и меньшую активность диагенетических про-

цессов. Также установлено, что меланжированные осадки (вследствие склоновых процессов или ледникового вспахивания) отличаются более низкими значениями  $Eh$ , чем осадки с ненарушенной структурой.

Предварительно исследованы фауна, микрофауна и микрофлора на некоторых уровнях в 10 из 18 колонок. Наиболее массовую группу микрофауны представляют планктонные и бентосные фораминиферы, которые присутствуют в верхнем (I) слое большинства колонок, соответствующем голоцену. В III горизонте (слой ранней дегляциации, диамиктон) отмечен комплекс бентосных фораминифер и единичные раковины *Neoglobobulimina pachyderma*, что указывает на накопление по крайней мере верхней части этого горизонта в условиях открытого морского бассейна с нормальной соленостью. От этих горизонтов резко отличаются осадки II горизонта, в которых обнаруживаются только редкие находки бентосных фораминифер и цисты диатомовых.

Предварительные данные микропалеонтологических исследований показывают, что отложения второго горизонта формировались в бассейне с угнетенной биопродуктивностью, что может быть следствием неустойчивости гидрологического и химического режимов поверхностных вод на этапе бурного таяния ледника. Надо отметить, что планктонные формы присутствуют только в III слое одной колонки в трог Орла, где, по-видимому, прежде всего началось внедрение атлантических вод после висленского оледенения (примерно соответствует валдайскому). Помимо этого были собраны двустворки, корненожки, остракоды, радиолярии и диатомеи.

В ы в о д ы. 1) Желоб Орла представляет собой современный рифт со сложной морфологией дна и акустического фундамента, а также аномально высоким тепловым потоком (до 500 мВт/м<sup>2</sup>); 2) в районе желоба Орла существуют два течения, первое из которых (поверхностное) переносит воду Северного Ледовитого океана на юг, а второе (придонное) – обломочный материал в северном направлении; 3) на континентальном склоне Северного Ледовитого океана выявлена система крупных оползневых тел; 4) в четвертичных осадках северной периферии Баренцева моря, соответствующих времени деградации последнего оледенения, выявлены признаки опреснения иловых вод; 5) обнаружена морская микрофауна в слоях ранней стадии дегляциации (в диамиктоне), которая указывает на проникновение в северную часть бассейна Баренцева моря морских вод с нормальной соленостью.

Работы проводились при финансовой поддержке программ Президиума РАН 14, 16 и 17, научной школы НШ-9664. 2006.5, а также Норвежского нефтяного директората.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дибнер В.Д. Морфоструктура шельфа Баренцева моря. Л.: Недра, 1978. 211 с.
2. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. // Геотектоника. 2003. № 3. С. 79–96.
3. Шпилов Э.В., Тарасов Г.А. Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 306 с.
4. Geology of Franz Josef Land / Norsk Polarinstitut. Meddelelse № 146. V.D. Dibner. Ed. Oslo, 1998. 190 p.
5. Kleiber H.P., Knies J., Niessen F. // Mar. Geol. 2000. V. 168. P. 25–44.
6. Murdmaa I., Ivanova E., Duplessy J. et al. // Mar. Geol. 2006. V. 230. P. 275–303.
7. Polyak L., Gataullin V., Okuneva O., Stelle V. // Sea Geol. 2000. V. 28. P. 611–614.
8. Smith D.G., Harland W.B., Hughes N.F., Pickton C.A.G. // Geol. Mag. 1976. V. 113. № 3. P. 193–304.
9. The Geology of Svalbard / W.B. Harland. Ed. // Mem. Geol. Soc. London. 1997. № 17. 521 p.