

УДК 550.361

## ТЕРМОТОМОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

© 2011 г. М. Д. Хуторской, Л. В. Подгорных, О. И. Супруненко,  
Б. И. Ким, А. А. Черных

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 24.03.2011 г.

Поступило 01.04.2011 г.

Изучение геотермического поля Западно-Арктического шельфа (Баренцево и Карское моря) показало, что как в температурном поле, так и в значениях плотности теплового потока этих акваторий наблюдается широкий разброс данных, объясняемый нами особенностями тектонической истории региона, существованием структурно-теплофизических неоднородностей и новейшими тектоническими проявлениями: рифтогенезом и деструкцией континентальной коры на окраине шельфа [1–3].

Вместе с тем была выявлена тесная пространственная связь локализации месторождений углеводородов и неоднородностей геотемпературного поля: практически все открытые месторождения приурочены к зонам подъема изотерм в осадочном чехле, к так называемым “термическим куполам” [2]. Эта пространственная корреляция, как показали дальнейшие исследования [4], проявлялась не только в Западно-Арктическом осадочном бассейне, но и в других типичных и разновозрастных бассейнах Северной Евразии. Она оказалась настолько убедительной, что мы предположили возможность использования термических куполов как поискового признака при прогнозировании нефтегазоносности в неразбуренных или слабо изученных в поисковом отношении регионах.

Море Лаптевых — один из таких регионов. Здесь выполнен большой объем сейсмических работ МОВ-ОГТ [5–9], проведено структурно-геологическое картирование и сейсмостратиграфическое расчленение осадочного чехла, однако бурение на шельфе пока не проводилось, и поэтому

выводы о локализации месторождений являются прогнозными и ориентировочными.

Геотермическое моделирование в геометрии 2D и 3D способно помочь выделить наиболее перспективные районы будущей разведки на шельфе, приуроченные к крупным региональным структурам.

Лаптевоморский шельф, находящийся на континентальной окраине, к которой ортогонально подходит ось спрединга Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО), имеет типичное для торцевых окраин строение. Как и на окраинах-аналогах, Лаптевский мегарифт имеет внутренние грабены и горсты и террасированные борты.

Активные срединно-океанические хребты подходят к краям континентов, помимо моря Лаптевых, только в районе Калифорнийского залива в Тихом океане и в Аденском заливе в Индийском океане. Торцевые бассейны мезозойских пассивных окраин более многочисленны. Можно упомянуть бассейн Бофорта–Маккензи ( $J_3-K_1$ ) в Канадской котловине СЛО, грабены Викинг и Центральный в Северном море ( $J_3-K_1$ ), грабен Бенуэ в Нигерийском бассейне Атлантики того же возраста, Лабрадорско-Баффинов палеосрединговый хребет ( $K_1-Pg_2$ ) [10, 11]. Более древним, позднепермско-раннетриасовым считается Уренгойско-Колтогорский рифт в Западной Сибири [12].

В осадочном выполнении Лаптевского мегарифта широко развиты листрические сбросы. С ними связаны запрокинутые моноклиальные блоки, образующие протяженные ступени на бортах и в глубоких частях рифтов. К моноклиальным ловушкам на таких ступенях приурочено большинство месторождений углеводородов на окраинах-аналогах [13]. Поэтому можно ожидать высокую концентрацию залежей и в море Лаптевых.

Для оценки температур на глубинах, не достигнутых бурением, а также глубины нахождения ха-

*Геологический институт  
Российской Академии наук, Москва  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
геологии и минеральных ресурсов Мирового океана  
им. И.С. Грамберга,  
Санкт-Петербург*

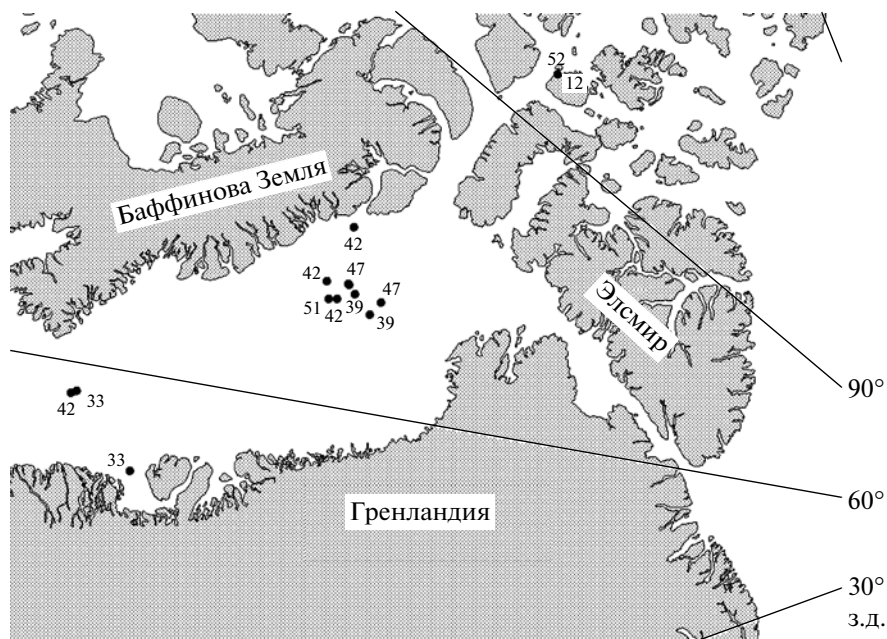


Рис. 1. Тепловой поток ( $\text{мВт}/\text{м}^2$ ) в море Баффина.

рактерных температурных границ в литосфере, отвечающих зонам нефте- и газогенерации ОВ, нами разработана методика 2D- и 3D-моделирования нестационарного теплового поля. Теплофизическая среда, т.е. конфигурация контрастных теплофизических слоев и значения тепло- и теплопроводностей, задавалась на основе соответствующей оцифровки выделенных по сейсмическим и геологическим данным структурных комплексов вдоль геотравверсов [1]. В качестве краевых условий на нижней границе области моделирования мы использовали во всех изученных осадочных бассейнах значения редуцированного теплового потока, измеренного скважинным или зондовым методом вблизи сейсмических профилей.

Шельфовая часть моря Лаптевых в геотермическом отношении является "белым пятном". Здесь пока не проводились геотермические измерения (пять измерений теплового потока в северной части моря относятся, скорее, к котловине Амундсена и располагаются на глубинах абиссали СЛО). Задать граничные условия второго рода на нижней границе области моделирования в море Лаптевых можно (естественно, с потерей точности моделирования, которая оценивается в 20%) на основании изученного в геотермическом отношении геологического аналога. Таким аналогом, по мнению некоторых исследователей [10, 14], является море Баффина, в котором имеются измерения теплового потока (рис. 1).

Среднее значение теплового потока по десяти измерениям в море Баффина составляет  $\sim 42 \text{ мВт}/\text{м}^2$ . Принимая во внимание, что радиогенная теплогенерация в донных отложениях шельфовых мо-

рей незначительна, можно считать, что редуцированный тепловой поток на нижней границе области моделирования будет равен измеренному в дне. Данное значение мы принимали в качестве краевого условия второго рода на нижней границе профилей. Нижняя граница располагалась на глубине от 9 до 15 км в породах кристаллического фундамента, характеризующихся пластовыми скоростями  $v_p > 4.6 \text{ км}/\text{с}$ . На верхней границе принималась среднегодовая температура на границе дно-вода по метеорологическим данным, составляющая  $-0.8^\circ\text{C}$  [15].

Моделирование проведено вдоль 30 профилей, координаты которых приведены в табл. 1.

Последовательность построения 3D-термомографических моделей нами неоднократно описывалась [1, 3, 4] и в данном исследовании сохранилась без каких-либо новшеств.

При моделировании принимались теплофизические свойства пород, указанные в табл. 2.

Вариации температур вдоль геотравверсов (рис. 2а, б) обусловлены рефракцией теплового потока в условиях структурно-теплофизических неоднородностей. Основными контрастными теплофизическими границами являются границы между современными неконсолированными и консолированными осадками, а также между осадочным комплексом и кристаллическим фундаментом. На большинстве участков вдоль геотравверсов эти границы представляются пологими (наклон сейсмических отражающих поверхностей не более  $2^\circ$ ), не создающими заметных деформаций фонового геотемпературного поля.

**Таблица 1.** Координаты профилей, использованных для термотомографического моделирования

№ п/п	Профиль	Глубина до нижней границы, км	Координаты			
			Начало профиля		Конец профиля	
			с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.
1	87723	6	72.8°	130.0°	73.95°	137.1°
2	86705	5	74.25	125.1	76.33	135.09
3	87722	6	73.33	119.5	74.62	126.75
4	200503	6	75.67	120.92	74.82	125.34
5	200522	5	74.53	117.53	75.95	122.27
6	700-1	15	78.48	116.0	78.48	115.9
7	700-2	15	79.75	129.2	78.48	116.0
8	700-3	15	79.77	129.28	79.75	129.2
9	701-1	15	77.15	112.61	77.14	112.49
10	701-2	15	77.9	117.9	77.15	112.61
11	701-3	15	79.29	129.11	77.9	117.9
12	701-4	15	79.75	129.2	79.29	129.11
13	708-2	15	76.52	123.55	76.55	123.34
14	708-1	15	76.55	123.34	76.14	116.0
15	707-5	15	78.52	116.0	78.48	116.0
16	707-4	15	78.48	116.0	77.9	117.9
17	707-3	15	77.9	117.9	77.47	119.75
18	707-2	15	77.47	119.75	76.77	122.64
19	707-1	15	76.77	122.64	76.52	123.58
20	704-4	15	79.08	132.37	79.03	132.3
21	704-3	15	79.03	132.3	78.45	132.15
22	704-2	15	78.45	132.15	76.77	122.64
23	704-1	15	76.77	122.64	76.72	122.53
24	702-5	15	79.06	132.79	79.03	132.3
25	702-4	15	79.03	132.3	77.47	119.75
26	702-3	15	77.47	119.75	76.76	114.57
27	702-2	15	76.76	114.57	77.15	112.61
28	702-1	15	77.15	112.61	77.22	112.23
29	708-3	15	76.23	126.06	76.52	123.55
30	800-1	15	77.37	140.73	76.26	126.65

Исключением является район Усть-Ленского рифта и Трофимовского поднятия, где из-за резкого изменения мощностей осадочных комплексов происходит заметный подъем изотерм. Например, изотерма 100°С, находившаяся в Южно-Лаптевском прогибе на глубине 5 км (рис. 2а, б), в Усть-Ленском рифте поднимается до 3.5 км (см. рис. 2б).

Для построения 3D-геотемпературной модели все профили были помещены в трехмерный плот (рис. 3а), а затем была проведена их объемная интерполяция (рис. 3б).

На рис. 3б хорошо выражены три “температурных купола”. Первый приурочен к Усть-Ленскому грабену, в плане протянувшемуся от северо-восточной оконечности дельты Лены до Баренцево-Карского континентального склона. Второй – к южной депрессии Омолойского прогиба (севернее губы Буор-Хая) и третий – к Бельковско-Святоносскому грабен-прогибу, расположенному восточнее о. Столбовой (рис. 3а, б). Максимальная мощность чехла в этих отрицательных структурах соответственно составляет 12, 11 и 7.5 км. По комплексу геологических признаков и аномальным содержаниям УВ-газов в донных осадках Усть-Ленский

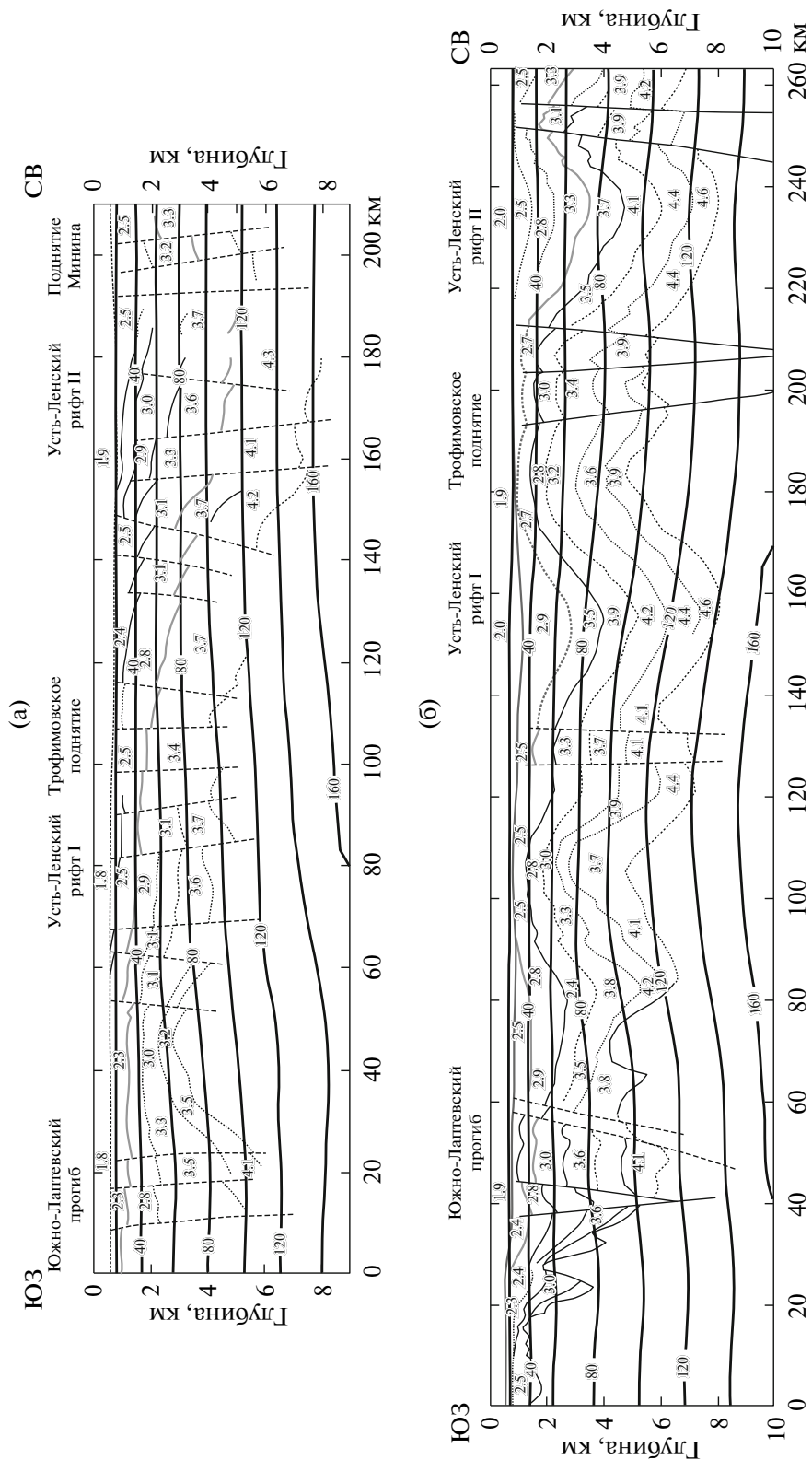


Рис. 2. Распределение температур (жирные линии – изотермы, °С) вдоль сейсмогеологических геотраверсов 200522 (а) и 87722 (б), см. рис. 3а.

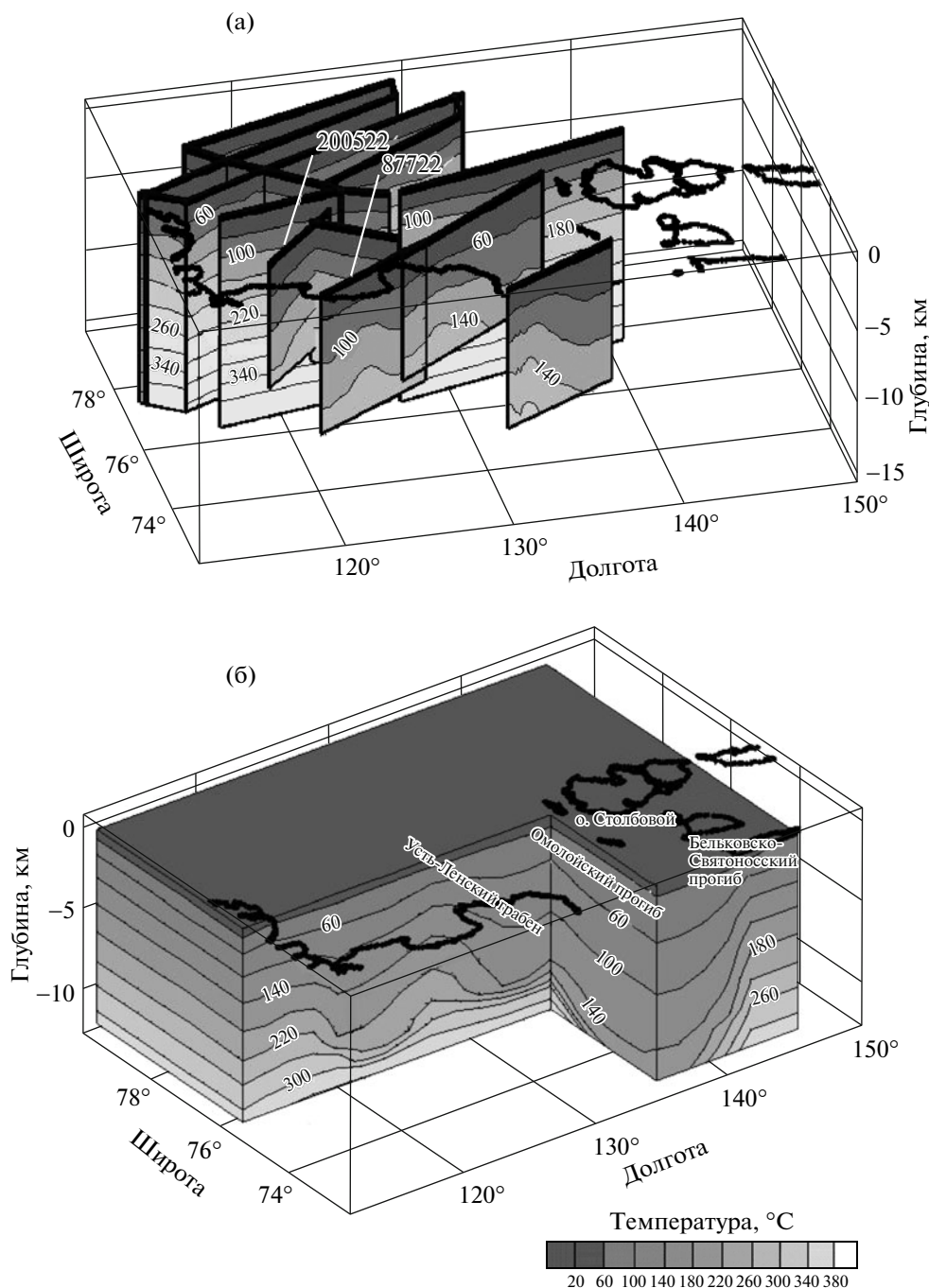


Рис. 3. 3D-геотемпературная модель моря Лаптевых: а – размещение 2D-профилей в трехмерном плотте; б – интерполяционная 3D-модель.

грабен и Омолойский прогиб рассматриваются в качестве перспективных нефтегазоносных структур.

Усть-Ленский грабен и Бельковско-Святоносский прогиб представляют собой рифтогенные структуры шельфа, расположенные на продолжении узких периокеанических прогибов, развитых вдоль Баренцево-Карского и Ломоносовского континентальных склонов. Южная депрессия Омолой-

ского прогиба развита на продолжении рифтогенного Северо-Омолойского грабена, структурно продолжающего на шельфе рифтовую долину хр. Гаккеля. К структурам приурочены линейные зоны эпицентров землетрясений и зафиксирован подъем границы М до 27–30, 20–25 и 27 км.

Таким образом, в море Лаптевых, так же как и в других шельфовых бассейнах Западно-Арктического региона, намечается отчетливая связь меж-

**Таблица 2.** Теплофизические параметры, принятые для моделирования геотермического поля в земной коре

Порода	Граничная сейсмическая скорость, км/с	Температуропроводность $a \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с	Теплопроводность, $k$ , Вт/(м · К)	Теплогенерация (норм.), $F_n \cdot 10^{-13}$ , К/с
Неконсолидированные осадки	<3.7	3.0	1.3	—
Консолидированные мезозойско-кайнозойские терригенные осадки	То же	3.5	1.5	—
Карбонатные палеозойские осадки	4.7	3.8	1.9	1.5
Граниты, верх. часть	6.0	5.0	2.5	5.52
То же, нижн. часть	6.5	5.0	2.5	3.5
Базальты, породы коромантийной смеси	>6.5	7.0	2.9	—
Коровые ультрабазиты	—	8.0	3.0	—
Мантийные ультрабазиты	—	10.0	3.2	—

ду термическими куполами и рифтогенными структурами, перспективными в нефтегазоносном отношении.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” и гранта РФФИ № 11–05–00047.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. // Геотектоника. 2003. № 3. С. 79–96.
- Хуторской М.Д., Вискунова К.Г., Подгорных Л.В. и др. // Геотектоника. 2008. № 2. С. 36–54.
- Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. // ДАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 318–323.
- Хуторской М.Д., Тевелева Е.А., Цыбуля Л.А., Урбан Г.И. // Геотектоника. 2010. № 4. С. 3–19.
- Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И. // Океанология. 1989. Т. 29. В. 5.
- Пискарев А.Л., Сорока И.В., Чернышев М.Ю. // Геотектоника. 2003. № 5. С. 57–72.
- Frankе D., Hitz K., Oncken O. // Mar. and Petroleum Geol. 2001. № 18. P. 1083–1127.
- Казанин Г.С., Кириллова-Покровская Т.А. В сб.: Материалы междунар. конф. “Нефть и газ Арктического шельфа-2006”. Мурманск, 2006. CD-R.
- Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. // Petroleum Geol. Conf. Ser. 2010. V. 7. P. 591–619.
- Chalmers J.A., Laursen K.N. // Mar. and Petroleum Geol. 1995. V. 12. № 2. P. 205–218.
- Дубинин Е.П., Ушаков С.А. Океанический рифтогенез. М.: Геос, 2001. 292 с.
- Клещев К.А., Шеин В.С. Нефть, газ Арктики. Материалы Междунар. науч.-техн. конф. М.: Интерконтакт Наука, 2007. С. 35–41.
- Андиева Т.А. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 3–31.
- Gregersen U., Bidstrup T. // Petroleum Geosci. 2008. V. 14. P. 151–166.
- Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 270 с.