

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.341: 551.35

ТЕМПЕРАТУРА, СОСТАВ И ВОЗРАСТ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ
В РАЙОНЕ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА МАРРЕ-САЛЕ

В.А. Дубровин, Л.Н. Крицук, Е.И. Полякова*

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО),
142452, пос. Зеленый, Московская обл., Россия; dva946@yandex.ru*

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; ye.polyakova@mail.ru*

Представлены результаты исследования верхней 20-метровой толщи донных отложений Приямальского шельфа, вскрытого двумя буровыми скважинами ВСЕГИНГЕО в мае 2014 г. Скважины оборудованы логгерами LPC и предназначены для мониторинга температурного режима донных отложений, необходимость которого связана с перспективным освоением месторождений углеводородов на шельфе. Приведены результаты наблюдений за изменением температуры трех летних месяцев 2014 г. в одной из скважин. В лабораторных условиях определены гранулометрический состав, водно-физические свойства, засоленность и диатомовые комплексы донных отложений. Установлено, что морские алевролитистые глины и алевролиты, слагающие донный разрез, представляют собой реликтовую мерзлую толщу, подвергшуюся криогенной метаморфизации в субаэральных условиях. Выявлено, что диатомовые комплексы глинистых отложений представлены исключительно морскими вымершими видами, характерными для диатомовой зоны *Puxilla gracilis* нижнего эоцена и верхней подсвиты люлинворской свиты Западной Сибири. В песках верхней части разреза прибрежной скважины установлен комплекс современных морских сублиторальных диатомей.

Шельф, буровая скважина, донные отложения, мониторинг, автономный измерительный комплекс, температурный режим, диатомовые комплексы

TEMPERATURE, COMPOSITION AND AGE OF THE KARA SEA SHELF SEDIMENTS IN THE AREA
OF THE GEOCRYOLOGICAL STATION MARRE-SALE

V.A. Dubrovin, L.N. Kritsuk, E.I. Polyakova*

*All-Russia Scientific and Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO),
142452, pos. Zeleny, Moscow region, Russia; dva946@yandex.ru*

**Lomonosov Moscow State University, Department of Geography,
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, Russia; ye.polyakova@mail.ru*

The results of studying the upper 20 m-thick Near-Yamal bottom shelf sediments, stripped in May 2014 by two boreholes of VSEGINGEO, have been presented. The boreholes were equipped with the loggers LPC for monitoring observations of temperature regime dynamics in the bottom sediments. This was necessary in connection with the prospective development of hydrocarbon deposits in the shelf. The results of the temperature change for three summer months of 2014 have been obtained. It has been revealed that the marine aleuro-litous clays and aleurolites represent relict frozen strata subjected to cryogenic metamorphization in the sub-aerial conditions. The diatom complexes of clayey soils consist exclusively of marine extinct species typical of the Early Eocene *Puxilla gracilis* diatom zone. A complex of modern marine sublittoral diatoms has been found in the sands of the near-shore borehole upper part.

Shelf, borehole, bottom sediments, monitoring, autonomous measuring complex, temperature regime, diatom complexes

ВВЕДЕНИЕ

Геокриологический стационар Марре-Сале был создан сотрудниками ВСЕГИНГЕО в 1978 г. на западном побережье полуострова Ямал, на территории одноименной метеорологической стан-

ции, наблюдения на которой ведутся с 1914 г. Стационар Марре-Сале является информационным объектом мониторинга криолитозоны России и выполняет функции фонового стационара при ос-

воени арктической части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и одного из немногих пунктов долговременных наблюдений за эволюцией криолитозоны в условиях современных глобальных изменений климата [Дубровин, 2009; Круподеров, Дубровин, 2012]. Расположение его на территории полярной метеорологической станции обеспечивает репрезентативность как собственно наблюдений, так и прогнозных оценок изменений параметров криолитозоны с использованием метеорядов. Геолого-геокриологический разрез Марре-Сале, особенно в его верхней, наиболее лдистой части, является опорным для значительной части Западного и Центрального Ямала, шельфовой зоны Карского моря и Байдарацкой губы.

Геокриологические наблюдения на Марре-Сале продолжаются уже 37 лет, поэтому они наиболее представительны при оценках фоновых (глобальных, региональных) изменений теплового состояния криолитозоны.

Одной из основных научных задач функционирования стационара при его создании было исследование динамики температурного режима мерзлых горных пород. К концу XX в. были достаточно хорошо изучены геокриологические условия верхнего горизонта многолетнемерзлых пород (ММП) до глубины 10–12 м [Павлов и др., 1996]. С 1995 по 2009 г. на площади стационара пробурены в различных ландшафтно-геологических условиях четыре скважины глубиной от 60 до 110 м,

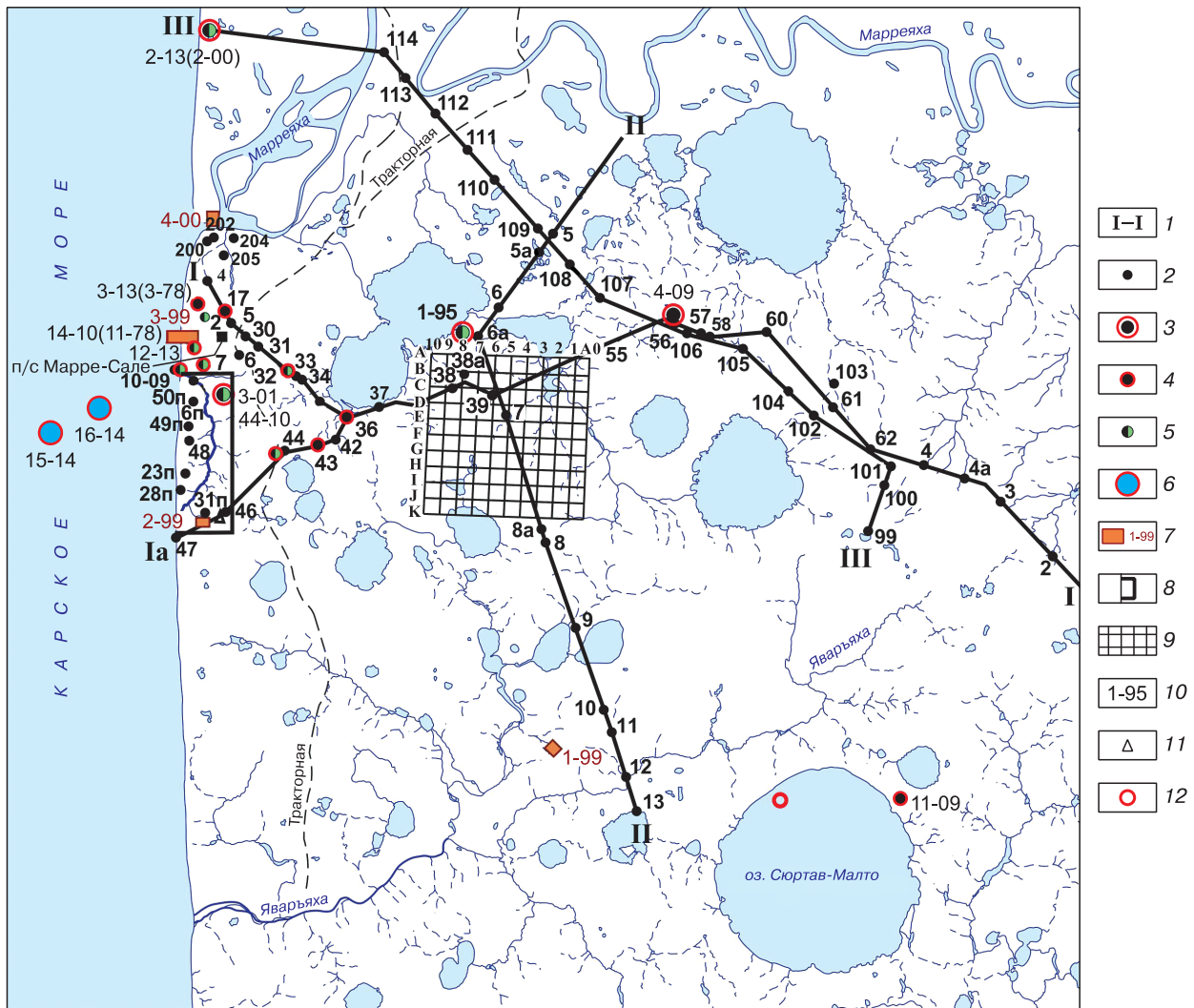


Рис. 1. Схема размещения наблюдательной сети на стационаре ВСЕГИНГЕО.

1 – профили: I, II – инженерно-геокриологические, III – режимных наблюдений. Буровые скважины: 2 – инженерно-геокриологические, 3 – глубокие, 4 – с логгером, 5 – с сейсмическим каротажем, 6 – на шельфе. Опытные участки: 7 – наблюдательные площадки, 8 – полукольцевая морфоструктура, 9 – полигон “Квадрат”. 10 – номер скважины и год бурения; 11 – репер; 12 – логгер на поверхности дна озера.

оборудованные универсальным автономным измерительным комплексом “Логгер LPC” [Дубровин и др., 1996]. Этот комплекс позволил получить объективную картину температурного режима ММП за длительный период. Начиная с 2000 г. логгерами оборудуются все вновь пробуриваемые скважины. В настоящее время ими оснащены 16 скважин глубиной от 20–30 до 110 м (рис. 1).

В итоге многолетних мониторинговых наблюдений в достаточно полном объеме выявлены основные особенности динамики температурного режима (в годовом и многолетнем разрезе) в береговой зоне южной части п-ова Ямал. Материалы наблюдений регулярно обрабатывались, публиковались и докладывались на конференциях [Дубровин и др., 1996; Крицук, Дубровин, 2000, 2006; Дубровин, Крицук, 2011; Круподеров, Дубровин, 2012].

Главной проблемой изучения криолитозоны Приямальского шельфа является полное отсутствие данных о температурном режиме донных отложений в интервалах глубин инженерной деятельности, необходимых в связи с предстоящим освоением здесь месторождений углеводородного сырья. Поэтому в мае 2014 г. в рамках выполнения технического задания по Государственному контракту ФА “Роснедра” на стационаре Марре-Сале были пробурены две скважины глубиной 20 м от морского дна, предназначенные для мониторинга динамики температурного режима донных отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первая скважина (15-14) была пробурена на изобате –5.0 м при удалении от берега на 860 м,

вторая (16-14) – на изобате –4.0 м в 500 м от берега (см. рис. 1). Бурение осуществлялось со льда (мощностью 1.8–2.3 м) буровыми станками “Стерх” и УБШМ-20. После окончания бурения скважины были обсажены наблюдательными металлическими трубами диаметром 57 мм и оборудованы измерительными комплексами LPC-F.

Датчики в термокоре расположены через 1 м, начиная с поверхности донных отложений и далее до забоя скважины (рис. 2). Оголовок трубы в придонном слое оборудован гибким шлангом (патрубком) диаметром 80 мм и длиной 8 м, который снабжен специальными якорными грузами, препятствующими его всплытию. Жесткая привязка местоположения пробуренных скважин к суше выполнялась разными способами, включая GPS-навигатор, теодолит, береговые створы различных конструкций (рис. 3). После завершения работ по оборудованию скважин на морском дне была проведена проверка работоспособности наблюдательного пункта. В течение недели снимались температурные замеры (до достижения постоянных значений, свидетельствующих о стабилизации температурного режима, нарушенного в ходе буровых работ) и были получены первичные показания приборов.

Температура донных отложений Приямальского шельфа. Уже первые значения температурных замеров в скважинах, пробуренных ВСЕГИНГЕО на шельфе, дали представление об особенностях температурного режима донных отложений в районе геокриологического стационара Марре-Сале.

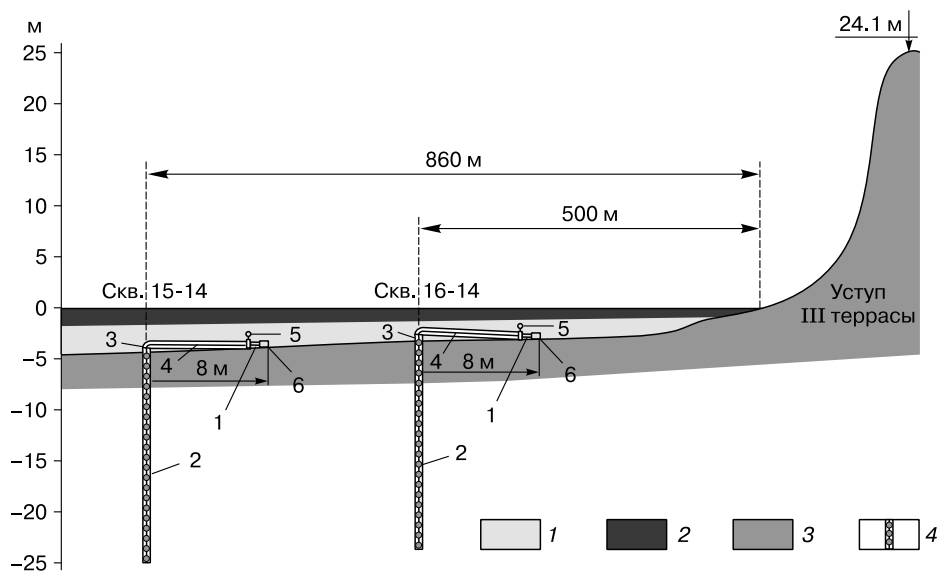


Рис. 2. Система обеспечения безопасности буровых скважин ВСЕГИНГЕО на шельфе Карского моря.
 1 – логгер LPC; 2 – обсадная труба; 3 – хомут; 4 – патрубок (гибкий шланг); 5 – поплавок; 6 – груз. 1 – морская вода; 2 – лед; 3 – грунт на суше, донные отложения на море; 4 – буровые скважины с термокосой.

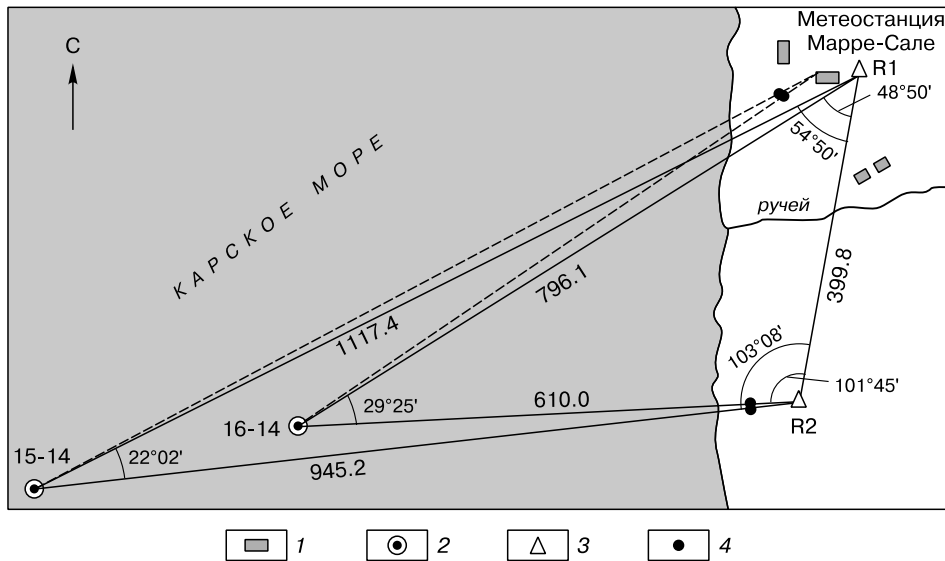


Рис. 3. План привязки буровых скважин ВСЕГИНГЕО на шельфе к местности.

1 – метеостанция Марре-Сале; 2 – буровая скважина 2014 г. и ее номер; 3 – реперная точка и ее номер; 4 – створовые знаки.

На рис. 4 для геологических разрезов обеих скважин приведены первые температурные замеры, снятые в мае 2014 г. Анализ кривых показывает, что температура 20-метровой толщи донных отложений изменяется в интервале от $-0.1...-0.3$ до $-1.8...-2.0$ °С.

После схода ледового покрова в августе 2014 г. были проведены повторные измерения температуры в дальней скважине (15-14). Гибкий шланг оголовка скважины с измерительным прибором LPC-F был поднят на поверхность воды и закреплен на лодке. С помощью Note Book сняты данные мониторинговых наблюдений за май–август 2014 г. (рис. 5). Разновременные замеры плотно легли на график, что свидетельствует о высокой точности измерения (см. рис. 5, А). На рис. 5, Б четко видна тенденция постепенного понижения температуры в интервале глубин 6–14 м. Анализ рис. 5, А, Б позволяет предполагать влияние на температуру донных отложений потепления, наблюдавшегося в последнее десятилетие, что зафиксировано в наземных скважинах (см. рис. 5, В). Подтвердить или опровергнуть это предположение поможет картина круглогодичной динамики температуры в скважинах на шельфе, которую планируется получить в 2015 г.

На рис. 5, А, Б представлена динамика нулевой изотермы в донных отложениях скв. 15-14. С 12 по 22 июня она находилась на поверхности дна моря, что в первую очередь связано с наличием и постепенным разрушением ледового покрова моря, а также, возможно, с протаиванием верхней мерзлой части разреза. При этом на глубине 6 м температура алевритистых глин с 19 мая по 20 августа понизилась с -0.6 до -0.8 °С, а на глубине

8 м – с -0.3 до -0.7 °С. Температура на дне моря в скв. 15-14 за период наблюдений изменялась от -1.9 до $+4.0$ °С. На глубине 20 м от дна температура донных отложений составила -1.4 °С в скв. 15-14 и -1.3 °С в скв. 16-14.

Геологическое строение шельфа. Бурение скважин на дне моря осуществлялось шнеком. Образцы для лабораторных испытаний отбирались с пера шнека (фиксированная глубина по проходке снаряда) из каждого слоя (при смене состава) или через 1 м выше него (при однородном составе пород). Отбор образцов и первичное описание проходки скважин проводились д-ром геол.-мин. наук Е.А. Слагодой (ИКЗ СО РАН).

В лабораториях ВСЕГИНГЕО законсервированные образцы донных отложений анализировались на гранулометрический состав, водно-физические свойства и определялся химический состав водной вытяжки. В табл. 1, 2 приведены данные по содержанию ионов, суммы солей и лабораторные названия проб. Описание литологического разреза выполнено в соответствии с лабораторными анализами. При названии проб аналитики ВСЕГИНГЕО ориентировались на инженерно-геологические документы [ГОСТ 25100]. Морские отложения подобного состава, содержащие глинистые частицы в которых более 30 %, называются алевритистыми (либо песчанистыми) глинами. Отложения с меньшим количеством глинистых частиц называются алевритами [Большая... энциклопедия, 1976, с. 29].

Донные отложения в скв. 15-14 представляют собой алевритистые глины с разной степенью пластичности (от мягко- и текучепластичных до текучих), с прослоями алевритов в интервалах:

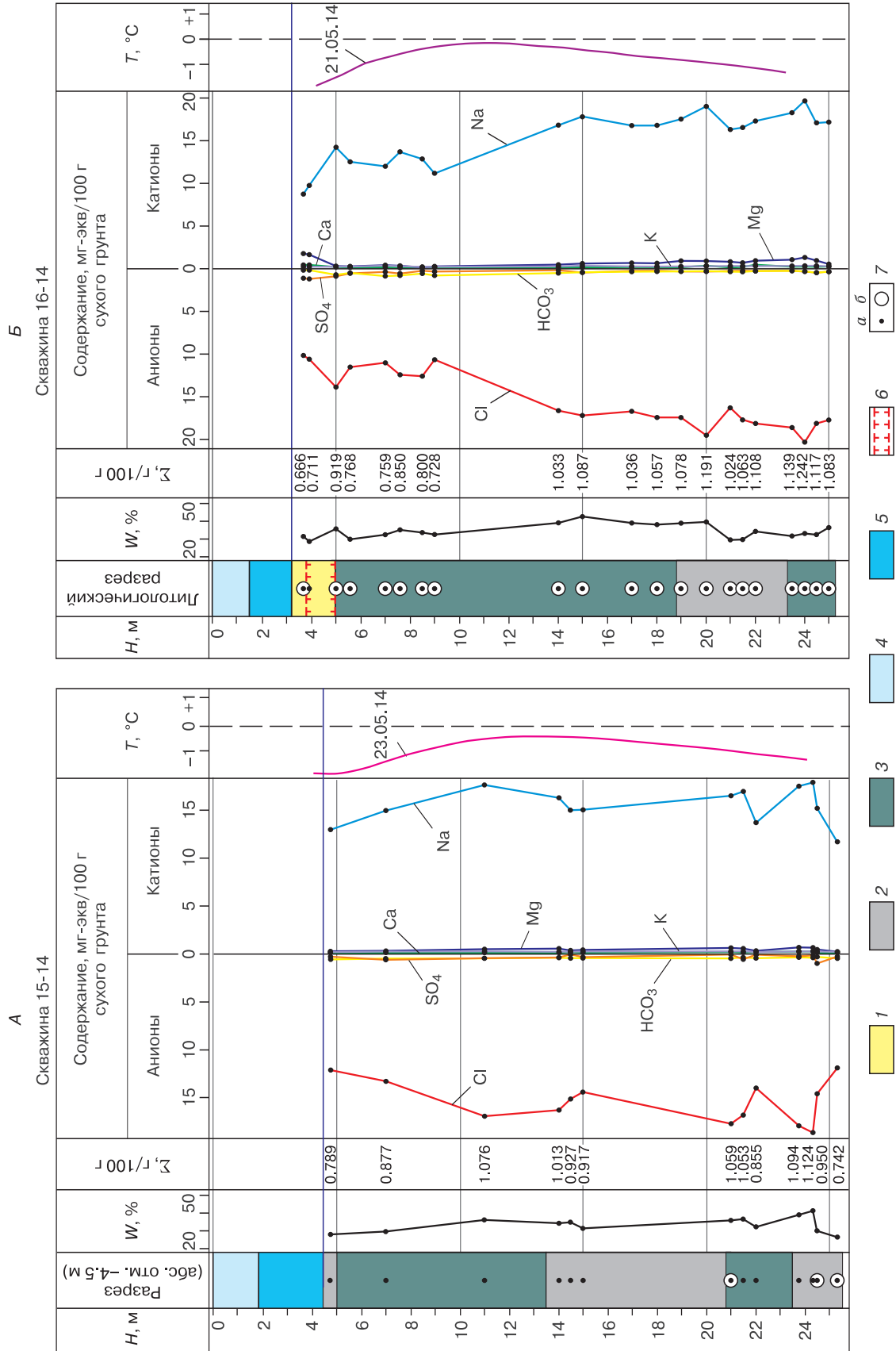


Рис. 4. Геологические разрезы буровых скважин ВСЕГИНГЕО на шельфе.

А – скв. 15-14; Б – скв. 16-14; 1 – песок; 2 – алевроит; 3 – алевролитстая глина; 4 – морской лед; 5 – морская вода; 6 – границы мерзлых отложений; 7 – точки отбора образцов; а – на лабораторные анализы, б – на диаграммы исследования. H – глубина; W – влажность грунта; Σ – сумма солей; T – температура грунта.

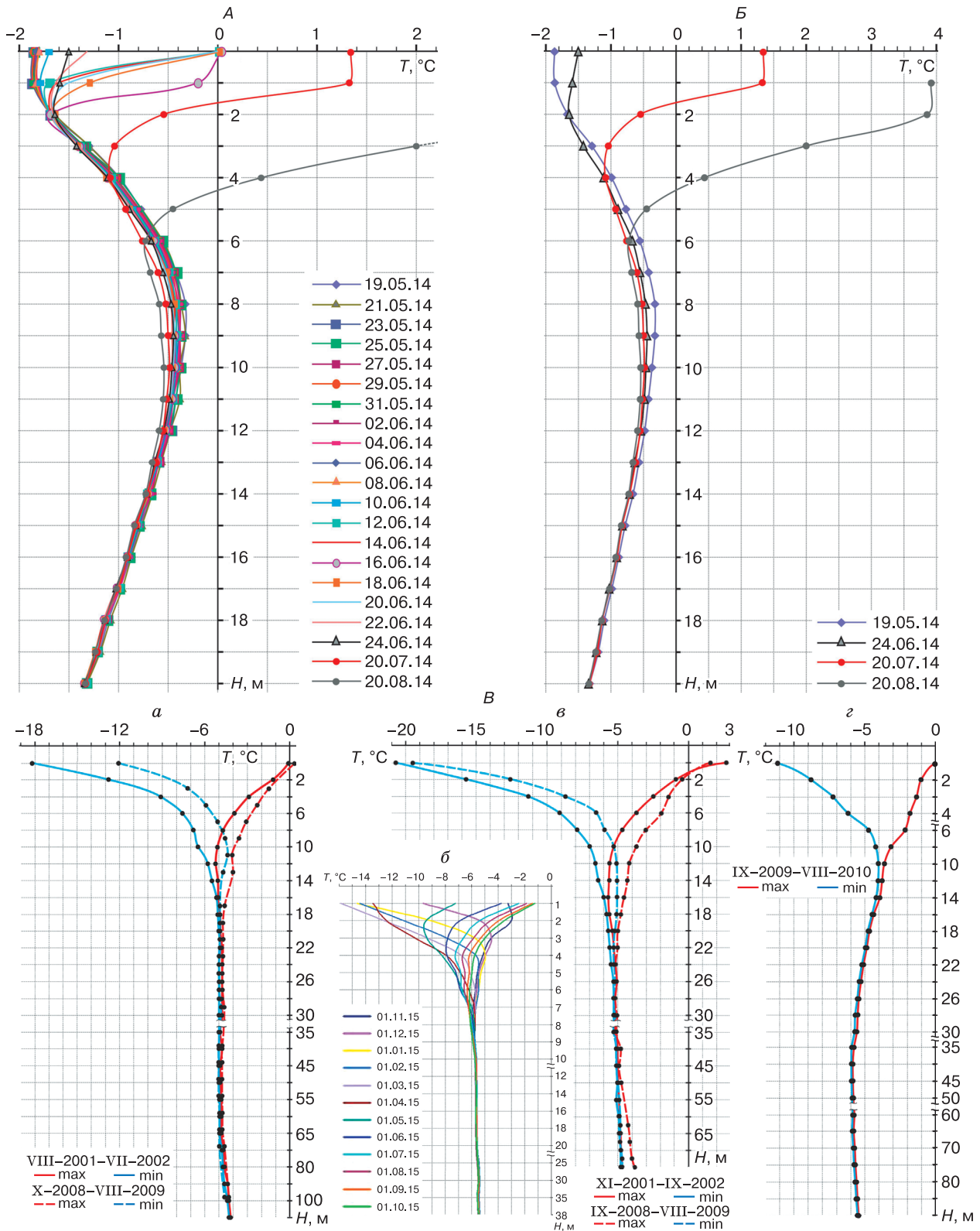


Рис. 5. Температура пород в скважинах геокриологического стационара Марре-Сале ВСЕГИНГЕО.

А – скв. 15-14, май–август 2014 г.; Б – скв. 15-14, в разные сроки; В – экстремальные температуры в глубоких скважинах стационара: а – 1-95; б – 2-00; в – 3-01, г – 4-09 (см. рис. 1).

Таблица 1. Литологический состав и засоленность донных отложений в скважине 15-14

Глубина, м	Литологический состав отложений	Формула Курлова (%-экв.)	Сумма ионов, г/100 г	рН	Генетические индикаторы морской воды		
					Na/K	Na/Cl	SO ₄ /Cl
4.5	Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный	Cl 93.5 HCO ₃ 4.3 SO ₄ 2.2 Na 95.5 Mg 2.1 K 1.5 Ca 0.9	0.789	7.6	63.7	1.02	0.02
7.0	Суглинок тяжелый пылеватый, мягкопластичный	Cl 92.5 HCO ₃ 3.3 SO ₄ 4.2 Na 95.3 Mg 2.2 K 1.5 Ca 1	0.877	7.4	63.3	1.03	0.05
11.0	Суглинок тяжелый пылеватый, текучепластичный	Cl 95.1 HCO ₃ 2.5 SO ₄ 2.4 Na 94.9 Mg 2.8 K 1.5 Ca 0.8	1.076	7.5	63.3	1.0	0.026
14.0	То же	Cl 95.7 HCO ₃ 2.2 SO ₄ 2.1 Na 94.6 Mg 3.3 K 1.3 Ca 0.8	1.013	7.5	72.8	0.99	0.02
14.5	Суглинок легкий пылеватый, текучий	Cl 97 HCO ₃ 2.8 SO ₄ 0.2 Na 94.7 Mg 2.4 K 1.6 Ca 1.3	0.927	7.5	59.2	0.98	0.002
15.0	Суглинок тяжелый пылеватый, мягкопластичный	Cl 95.7 HCO ₃ 2.2 SO ₄ 2.1 Na 94.6 Mg 3.3 K 1.3 Ca 0.8	0.917	7.4	72.8	0.99	0.021
21.0	Суглинок легкий пылеватый, текучий	Cl 97.2 HCO ₃ 2.5 SO ₄ 0.3 Na 93.6 Mg 3.6 K 1.6 Ca 1.2	1.059	7.6	58.5	0.96	0.006
21.5	То же	Cl 95 SO ₄ 3 HCO ₃ 2 Na 94.2 Mg 3.2 K 1.6 Ca 1	1.053	7.3	58.9	0.99	0.032
22.0	»	Cl 96.5 HCO ₃ 3 SO ₄ 0.5 Na 94.8 Mg 2.3 K 1.5 Ca 1.4	0.855	7.5	63.2	0.98	0.005
23.5	Суглинок тяжелый пылеватый, текучий	Cl 96.8 HCO ₃ 2 SO ₄ 1.2 Na 93.3 Mg 3.7 K 1.5 Ca 1.5	1.094	7.2	62.2	0.96	0.012
24.3	То же	Cl 97.3 HCO ₃ 2 SO ₄ 0.7 Na 93.5 Mg 3.5 K 1.5 Ca 1.5	1.124	7.5	62.3	0.96	0.007
25.0	Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичный	Cl 91.6 SO ₄ 6.2 HCO ₃ 2.2 Na 94.5 Mg 3 K 1.6 Ca 0.9	0.950	6.8	59.1	1.03	0.022
25.3	Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный	Cl 94.1 HCO ₃ 3.7 SO ₄ 2.2 Na 95 Mg 2 K 1.9 Ca 1.1	0.742	6.9	50.0	1.01	0.023
1	Вода океана	Cl 90.2 SO ₄ 9.3 HCO ₃ 0.5 Na 77 Mg 17.9 Ca 3.5 K 1.6	35008*	7.5	48.0	0.1	0.86
2	Морская вода в 100 м от берега	Cl 91 SO ₄ 9 Na 77 Mg 18 Ca 3 K 2	30.223	7.2	38.5	0.1	0.85
3	Речная вода в устье р. Марреяха	Cl 88 SO ₄ 10 HCO ₃ 2 Na 77 Mg 18 Ca 3 K 2	1.474	6.2	38.5	0.11	0.87
4	То же, в 4.6 км от устья	Cl 82 HCO ₃ 12 SO ₄ 6 Na 71 Mg 22 Ca 6 K 1	0.480	7.7	71.0	0.07	0.87

* [Справочник гидрогеолога, 1962, с. 170].

14.5–15.0, 21.0–23.5, 25.0–25.3 м текучей консолидации (см. табл. 1). В интервалах 4.0–4.5 и 24.3–25.3 м донные отложения плотные, по-видимому, мерзлые без видимых включений льда (по описанию Е.А. Слагоды). В естественных условиях отложения сизо-серые или сизо-черные, при высыхании они светло-серые или шоколадно-коричневые.

Гранулометрический состав алевритистых глин следующий: песок – от 10 до 25 % (преоблада-

ют частицы диаметром 0.10–0.05 мм); пылеватые частицы – от 40 до 50 %; глина – от 32 до 45 %. Влажность изменяется в интервале 28–42 %.

Состав и свойства отложений в скважинах 16-14 и 15-14 значительно различаются (см. табл. 2). Скважина 16-14 находится ближе к берегу и потому испытывает влияние вдольбереговых потоков из устьевой части р. Марреяха*.

* Через три месяца устье скв. 16-14 оказалось занесенным слоем песка.

Таблица 2. Литологический состав и засоленность донных отложений в скважине 16-14

Глубина, м	Литологический состав отложений	Формула Курлова (%-экв.)	Сумма ионов, г/100 г	рН	Генетические индикаторы морской воды		
					Na/K	Na/Cl	SO ₄ /Cl
3.3	Песок мелкий	$\frac{\text{Cl } 88.8 \text{ SO}_4 \text{ 9.7 HCO}_3 \text{ 1.5}}{\text{Na } 78.1 \text{ Mg } 16 \text{ Ca } 3.9 \text{ K } 2}$	0.666	7.4	39.0	0.88	0.11
3.9	То же	$\frac{\text{Cl } 88.7 \text{ SO}_4 \text{ 9.9 HCO}_3 \text{ 1.4}}{\text{Na } 80.8 \text{ Mg } 13.7 \text{ Ca } 3.6 \text{ K } 1.9}$	0.711	7.4	46.7	0.91	0.11
5.0	Суглинок тяжелый пылеватый, мягкопластичный	$\frac{\text{Cl } 89.7 \text{ SO}_4 \text{ 5.7 HCO}_3 \text{ 4.6}}{\text{Na } 95 \text{ Mg } 2.0 \text{ Ca } 1.4 \text{ K } 1.6}$	0.919	7.5	59.4	1.06	0.03
5.5	Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный	$\frac{\text{Cl } 91.7 \text{ SO}_4 \text{ 4.4 HCO}_3 \text{ 3.9}}{\text{Na } 94.9 \text{ Mg } 2.2 \text{ Ca } 1.9 \text{ Ca } 1}$	0.768	7.5	49.9	1.03	0.05
7.0	Суглинок тяжелый пылеватый, мягкопластичный	$\frac{\text{Cl } 89.9 \text{ HCO}_3 \text{ 7 SO}_4 \text{ 3.1}}{\text{Na } 92.9 \text{ Mg } 3.2 \text{ K } 2.7 \text{ Ca } 1.2}$	0.759	7.5	34.4	1.03	0.033
7.5	Суглинок тяжелый пылеватый, текучепластичный	$\frac{\text{Cl } 90 \text{ HCO}_3 \text{ 5.8 SO}_4 \text{ 4.2}}{\text{Na } 94.8 \text{ Mg } 2.4 \text{ K } 2.1 \text{ Ca } 0.7}$	0.850	7.6	45.1	1.05	0.05
8.5	То же	$\frac{\text{Cl } 93.9 \text{ HCO}_3 \text{ 4.4 SO}_4 \text{ 1.7}}{\text{Na } 95.9 \text{ Mg } 1.1 \text{ K } 1.6 \text{ Ca } 1.4}$	0.800	7.6	59.9	1.02	0.02
9.0	Суглинок тяжелый пылеватый, мягкопластичный	$\frac{\text{Cl } 90.5 \text{ HCO}_3 \text{ 6.7 SO}_4 \text{ 2.8}}{\text{Na } 94.2 \text{ Mg } 2.3 \text{ K } 2 \text{ Ca } 1.5}$	0.728	7.8	47.1	1.04	0.03
14.0	Суглинок тяжелый пылеватый, текучий	$\frac{\text{Cl } 96 \text{ HCO}_3 \text{ 3 SO}_4 \text{ 1}}{\text{Na } 94.8 \text{ Mg } 2.7 \text{ K } 1.5 \text{ Ca } 1}$	1.033	7.6	63.2	0.98	0.001
15.0	То же	$\frac{\text{Cl } 95.3 \text{ SO}_4 \text{ 2.5 HCO}_3 \text{ 2.2}}{\text{Na } 94.1 \text{ Mg } 3.2 \text{ K } 1.9 \text{ Ca } 0.8}$	1.087	7.4	49.5	0.99	0.026
17.0	Суглинок легкий пылеватый, текучий	$\frac{\text{Cl } 96.6 \text{ HCO}_3 \text{ 2 SO}_4 \text{ 1.4}}{\text{Na } 93.6 \text{ Mg } 3.8 \text{ K } 1.5 \text{ Ca } 1.1}$	1.036	7.3	62.4	0.97	0.014
18.0	То же	$\frac{\text{Cl } 97 \text{ HCO}_3 \text{ 1.8 SO}_4 \text{ 1.2}}{\text{Na } 94 \text{ Mg } 3.6 \text{ K } 1.4 \text{ Ca } 1}$	1.057	7.3	67.1	0.97	0.012
19.0	»	$\frac{\text{Cl } 96.5 \text{ HCO}_3 \text{ 1.8 SO}_4 \text{ 1.7}}{\text{Na } 92.8 \text{ Mg } 4.8 \text{ Ca } 0.9 \text{ K } 1.5}$	1.078	7.3	61.9	0.96	0.017
20.0	»	$\frac{\text{Cl } 96.9 \text{ SO}_4 \text{ 1.7 HCO}_3 \text{ 1.4}}{\text{Na } 92.5 \text{ Mg } 4.4 \text{ Ca } 1.7 \text{ K } 1.4}$	1.191	7.1	66.1	0.95	0.016
21.0	Суглинок легкий пылеватый, текучепластичный	$\frac{\text{Cl } 96.4 \text{ HCO}_3 \text{ 2 SO}_4 \text{ 1.6}}{\text{Na } 92.8 \text{ Mg } 4.6 \text{ Ca } 0.9 \text{ K } 1.7}$	1.024	7.3	54.6	1.0	0.017
21.5	Суглинок легкий пылеватый, текучий	$\frac{\text{Cl } 96.7 \text{ HCO}_3 \text{ 2 SO}_4 \text{ 1.3}}{\text{Na } 93.3 \text{ Mg } 3.9 \text{ Ca } 1.1 \text{ K } 1.7}$	1.063	7.8	54.9	0.96	0.013
22.0	То же	$\frac{\text{Cl } 97 \text{ SO}_4 \text{ 1.5 HCO}_3 \text{ 1.5}}{\text{Na } 91 \text{ Mg } 5 \text{ Ca } 2.4 \text{ K } 1.6}$	1.108	7.3	56.9	0.94	0.015
23.5	»	$\frac{\text{Cl } 97.4 \text{ HCO}_3 \text{ 1.3 SO}_4 \text{ 1.3}}{\text{Na } 91.8 \text{ Mg } 5.4 \text{ K } 1.6 \text{ Ca } 1.2}$	1.139	7.2	57.4	0.94	0.013
24.0	»	$\frac{\text{Cl } 97 \text{ SO}_4 \text{ 1.6 HCO}_3 \text{ 1.4}}{\text{Na } 91.2 \text{ Mg } 6.1 \text{ Ca } 1.2 \text{ K } 1.5}$	1.242	7.2	60.8	0.94	0.016
24.3	Суглинок тяжелый пылеватый, текучепластичный	$\frac{\text{Cl } 95.1 \text{ HCO}_3 \text{ 2.5 SO}_4 \text{ 2.4}}{\text{Na } 91.8 \text{ Mg } 5.1 \text{ K } 1.8 \text{ Ca } 1.3}$	1.117	7.8	51.0	0.96	0.025
25.0	Суглинок легкий пылеватый, текучий	$\frac{\text{Cl } 96.1 \text{ HCO}_3 \text{ 2 SO}_4 \text{ 1.9}}{\text{Na } 94 \text{ Mg } 3 \text{ K } 1.6 \text{ Ca } 1.4}$	1.083	7.6	58.8	0.98	0.02

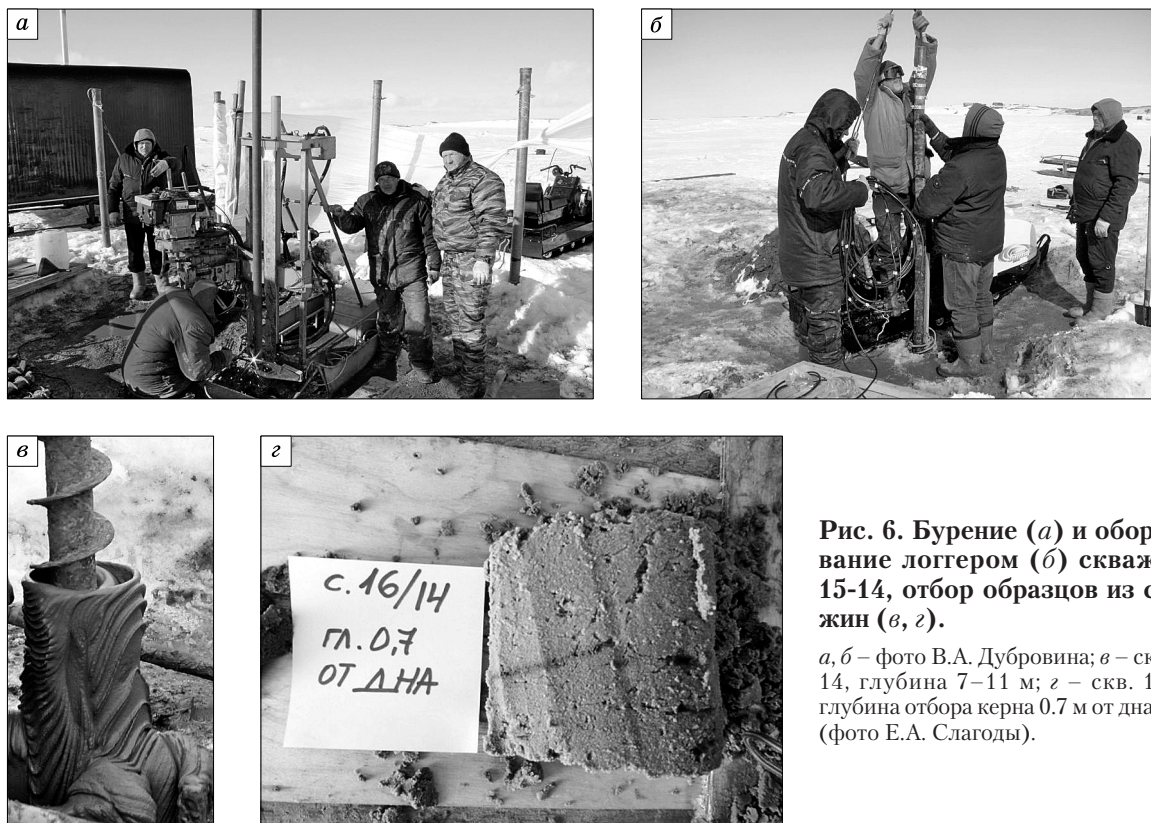


Рис. 6. Бурение (а) и оборудование логгером (б) скважины 15-14, отбор образцов из скважин (в, з).

а, б – фото В.А. Дубровина; в – скв. 15-14, глубина 7–11 м; з – скв. 16-14, глубина отбора керна 0.7 м от дна моря (фото Е.А. Слагоды).

В интервале глубин 0–1.8 м (от поверхности дна) здесь залегает песок мелкий, хорошо промытый; содержание фракции 0.25–0.10 мм превышает 90 %. Сверху песок водонасыщенный, с глубины 0.5 м – мерзлый, плотно сцементирован льдом (рис. 6, з). В интервале 5–17 м вскрыты алевролитистые глины разной консистенции от тугопластичных до текучих. На глубине от 17 до 25 м залегают алевролиты текучей консистенции с прослоем алевролитистой глины (текучепластичной) в интервале 24.5–25.0 м.

По данным лабораторного анализа, гранулометрический состав алевролитистых глин в скв. 16-14 следующий: песчаные частицы (размером 0.10–0.05) – от 6 до 13 %; пылеватые частицы – от 40 до 60 %; глина – от 35 до 50 %. В алевролитах возрастает количество песчаных частиц (до 25–40 %) и уменьшается содержание глины (до 19–29 %); содержание пылеватых частиц изменяется от 40 до 55 %. Влажность песка составляет 30 %, алевролитов изменяется в интервале 29–39 %, а алевролитистых глин – 30–43 %.

Высокое содержание опоквидного материала – отличительная особенность алевролитистых глин в обеих скважинах, в результате чего они оказываются сверхпластичными (т. е. раскатываются в очень тонкий шнур) и липнут к губам (что характерно для палеогеновых отложений Западной Сибири).

Донные отложения в обеих скважинах засолены. Содержание солей изменяется в пределах 0.8–1.2 г на 100 г грунта в скв. 15-14 и от 0.7 до 1.2 г на 100 г грунта в скв. 16-14. Засоление морское с резким преобладанием ионов Cl^- и Na^+ (см. рис. 4, табл. 1, 2). Однако соотношение ионов в отложениях обеих скважин отличается от типично морского. Практически во всех опробованных образцах донных отложений (кроме песков в скв. 16-14) наблюдается повышенное содержание ионов Cl^- (95–96 %-экв.) и, особенно, Na^+ (93–95 %-экв.), что является признаком криогенной метаморфизации порового раствора [Анисимова, 1981; Фотиев, 2009]. Содержание ионов Mg^{2+} аномально низкое; ионов SO_4^- значительно меньше, чем в морской воде (лишь в песке в скв. 16-14 содержится сульфат-иона близко к показателю в морской воде). В отличие от современной морской воды все опробованные образцы (38 шт.) содержат ионы HCO_3^- (до 3–4 %-экв. в скв. 15-14 и до 6–7 %-экв. в скв. 16-14).

В табл. 1, 2 наряду с лабораторными данными по составу и засоленности донных отложений приведены расчетные генетические индикаторы морской воды: отношения количества основных ионов. Эти показатели для океанической и морской воды даны в нижней части табл. 1. Сравнение полученных значений трех индикаторов в скважинах на шельфе с морской и океанической во-

дой показывает их серьезные различия, а также большую изменчивость по разрезам скважин. Очевидно, что такая картина (вместе с хаотическим изменением по глубине разрезов суммы солей) может быть объяснена только криогенной метаморфизацией морских отложений. При этом постоянное присутствие в них ионов HCO_3^- позволяет утверждать, что морские отложения, слагающие разрезы обеих скважин, подвергались криогенной метаморфизации в субаэральных условиях.

Гипотетические соли, содержащиеся в донных отложениях, определенные по методике Н.П. Анисимовой [1981], приведены в табл. 3. Анализ данных показывает, что в разрезах скважин на шельфе стабильно содержатся соли континентального происхождения: гидрокарбонаты магния и калия, а также сульфат натрия, что свидетельствует о промытости изученной морской толщи пресными водами (озерными, речными или подземными).

Указанные выше особенности солевого состава и сверхпластичность придонных отложений шельфа дают основание предполагать их доплейстоценовый возраст и эрозионный характер геологического разреза шельфа. Доказательством этого

предположения служат результаты многолетних исследований динамики берега Карского моря, выполненные на стационаре Марре-Сале сотрудниками ВСЕГИНГЕО [Крицук, 2010; Крицук и др., 2014].

Анализ повторных аэрофото- и космических снимков с использованием ГИС-технологий позволил установить, что ежегодное (среднепогодное) отступление подножия береговых обрывов Карского моря в районе пос. Марре-Сале за 44 года (1969–2013) составляет 1.5 м, т. е. 150 м в столетие. По-видимому, 300–350 лет назад берег моря здесь находился на расстоянии 450–500 м от современного положения, а 500–600 лет назад – на расстоянии 800–900 м. Это означает, что пробуренные в 2014 г. скважины на дне шельфа вскрыли древние субаэральные разрезы.

Алевритистые глины, подобные вскрытым на дне шельфа, выходят на дневную поверхность в береговых обнажениях на участках устьев рек Марреяха и Яварьяха. Как правило, к ним приурочены обнажения подземных льдов или следы их наличия в прошлом: крупные термоцирки, гигантские байджерахи, глубокие овраги и балки, глиня-

Таблица 3. Гипотетические соли в донных отложениях Приямальского шельфа

Место отбора проб; глубина, м	NaCl	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaSO ₄	NaHCO ₃	MgHCO ₃	CaHCO ₃	KCl	KSO ₄	KHCO ₃
Вода океана	77.6	10.7	–	6.8	2.5	–	–	0.8	1.6	–	–
Вода р. Марреяха в устье	76.7	10.3	–	7.1	3.0	–	5.0	1.5	1.6	–	1.0
<i>Скважина 16-14</i>											
3.3	78.1	10.7	–	5.3	3.9	–	–	–	–	0.5	1.0
3.9	80.8	7.9	–	5.8	3.6	–	–	–	–	0.5	1.4
5.0	89.7	–	5.3	0.4	–	–	1.6	1.4	–	–	1.6
8.5	93.9	–	1.7	–	–	0.3	1.1	1.4	–	–	1.6
9.0	90.5	–	2.8	–	–	0.9	2.3	1.5	–	–	2.0
19.0	92.8	3.7	–	1.1	0.6	–	–	0.3	–	–	1.5
20.0	92.5	4.4	–	–	1.7	–	–	–	–	–	1.4
21.0	92.8	–	–	1.0	0.6	–	–	0.3	–	–	1.7
24.0	91.2	5.8	–	0.3	1.2	–	–	–	–	0.1	1.4
25.0	94.0	2.1	–	0.9	1.0	–	–	0.4	–	–	1.6
<i>Скважина 15-14</i>											
4.5	93.0	2.0	2.0	0.1	–	–	–	0.9	–	–	1.5
7.0	92.5	–	2.8	1.4	–	–	0.8	1.0	–	–	1.5
11.0	94.9	0.2	–	2.4	–	–	0.2	0.8	–	–	1.5
14.0	94.6	1.1	–	2.1	–	–	0.1	0.8	–	–	1.3
14.5	94.7	2.3	–	0.1	0.1	–	–	1.2	–	–	1.6
15.0	94.6	1.1	–	2.1	–	–	0.1	0.8	–	–	1.3
21.0	93.6	3.6	–	–	–	–	–	1.2	–	0.3	1.3
21.5	94.2	0.8	–	2.4	–	–	–	1.0	–	0.6	1.0
22.0	94.8	1.7	–	0.5	–	–	0.1	1.4	–	–	1.5
23.5	93.3	3.5	–	0.2	–	–	–	1.5	–	1.0	0.5
24.3	93.5	3.5	–	–	0.4	–	–	1.1	0.3	–	1.2
25.0	91.6	–	2.9	3.0	0.3	–	–	0.6	–	–	1.6
25.3	94.1	–	0.9	1.3	–	–	0.7	1.1	–	–	1.9

ная галька и т. д. [Крицук, 2010]. Большинство исследователей марресальских разрезов эти глины признают осадками плейстоценового моря [Зубаков, Левковская, 1968; Данилов, 1986; Гатауллин, 1991; Стрелецкая и др., 2009; Слагода и др., 2012]. Однако существуют и иные точки зрения на генезис и возраст отложений, слагающих береговые обнажения района Марре-Сале. Так, Ф.А. Каплянская и В.Д. Тарноградский [1982] считают, что марресалинская свита формировалась в озерном бассейне в конце палеогена – начале неогена. К подобному выводу пришла и Е.И. Полякова на основе изучения диатомовой микрофлоры из глинистых отложений, слагающих центральную часть крупной полукольцевой морфоструктуры с вытаивающими подземными льдами, обнажавшимися на берегу Карского моря [Полякова, Данилов, 1989]. В.Н. Гатауллин [1991] считает береговые марресальские отложения с подземными льдами отложениями дельты Праоби. Наконец, многолетние комплексные исследования, проведенные ВСЕГИНГЕО как в береговой зоне, так и в разрезе, вскрытом скважинами на шельфе, также свидетельствуют о древнем (доплейстоценовом) возрасте марресальских отложений [Крицук, 2010].

Скважины 15-14 и 16-14 пробурены напротив полукольцевой радиально-концентрической морфоструктуры протяженностью вдоль берега около 1 км и шириной 0.4 км (см. рис. 1, 7), включавшей ледяные тела различных морфологии и размеров (пласты, линзы, лакколиты и жилы), мощностью до 10–15 м. За вытаиванием этих льдов разными исследователями ведутся наблюдения более 40 лет. Эта морфоструктура ранее была детально изучена авторами [Крицук, Дубровин, 2000, 2006; Крицук, 2010; Крицук и др., 2014]. В 1986 г. в ее пределах сотрудниками ВСЕГИНГЕО были проведены комплексные исследования, включавшие геофизические работы (электропрофилирование и вертикальное зондирование), разбуривание экстремальных точек электропрофилей (до глубин 12–15 м), криолитологическое изучение керна скважин и береговых обнажений, а также массовое опробование подземных льдов и поверхностных вод для определения их химического и изотопного состава [Крицук, 2010]. В 2001 г. в краевой части полукольцевой морфоструктуры на расстоянии 300 м от берега моря была пробурена скв. 3-01 глубиной 84 м. Абсолютная отметка устья скважины 21.5 м, высота над днищем лога 15 м (см. рис. 7). Скважина бурилась в октябре 2001 г. колонковым способом, вначале всухую, а с глубины 13.7 м – с промывкой соляным глинистым раствором. Разрез скв. 3-01 представлен на рис. 8, а полное его описание приведено в работе [Крицук, 2010].

Особенности криогенного строения разреза скв. 3-01 свидетельствуют о вторично-внутригрунтовом генезисе ледяных включений (тре-

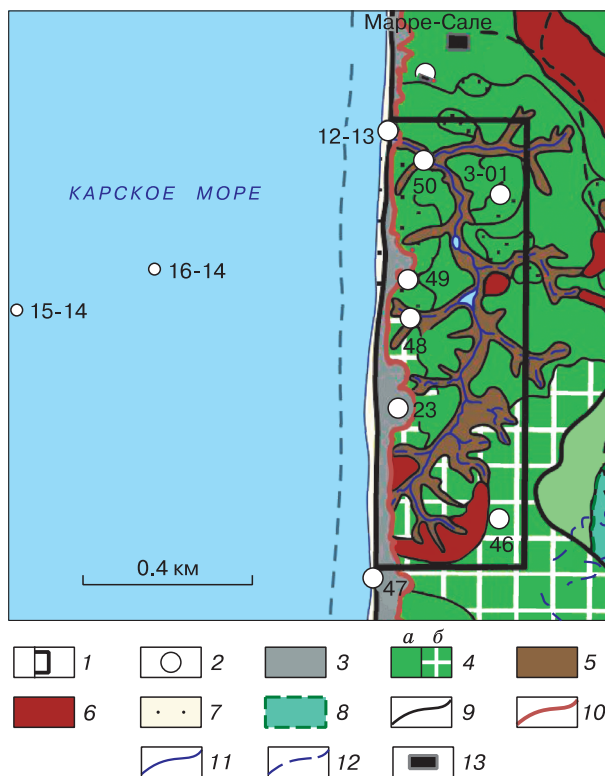


Рис. 7. Полукольцевая морфоструктура на берегу Карского моря (фрагмент карты геокриологического районирования стационара Марре-Сале).

1 – участок комплексных наземных работ ВСЕГИНГЕО в 1986 г.; 2 – буровая скважина и ее номер; 3 – термообразный береговой склон; 4 – виды геокриологических разрезов: а – приривочные участки с пятнами песка, б – то же, с полигональной сетью трещин; 5 – лога и овраги; 6 – полигональные торфяники; 7 – морской пляж; 8 – спущенные озера (хасырей); 9 – граница геоморфологических уровней; 10 – бровка берега в 2013 г.; 11 – береговая линия в 2013 г.; 12 – то же, в 1969 г.; 13 – метеостанция Марре-Сале.

щинного типа), диагенетических преобразований водных (слоистых) отложений и, следовательно, их древнем возрасте. К ним относятся: высокая плотность и малая льдистость глин и песков (исключая контакты с ледяными телами); преобладание криогенных текстур массивного типа; редкие включения наклонных и вертикальных ледяных прожилок и прослоек в горизонтально-слоистых глинистых и песчаных отложениях (так же как вертикальная слоистость ледяного тела, вскрытого в интервале 4.9–12.0 м); наличие слоев мелкооскольчатых алевритистых глин, непосредственно контактирующих с ледяными слоями.

Распределение компонентов минерализации в скв. 3-01 тесно связано с вещественным составом отложений, а значит, и с генезисом выделяемых слоев (см. рис. 8). Морскими отложениями здесь являются только соленые глины, залегающие

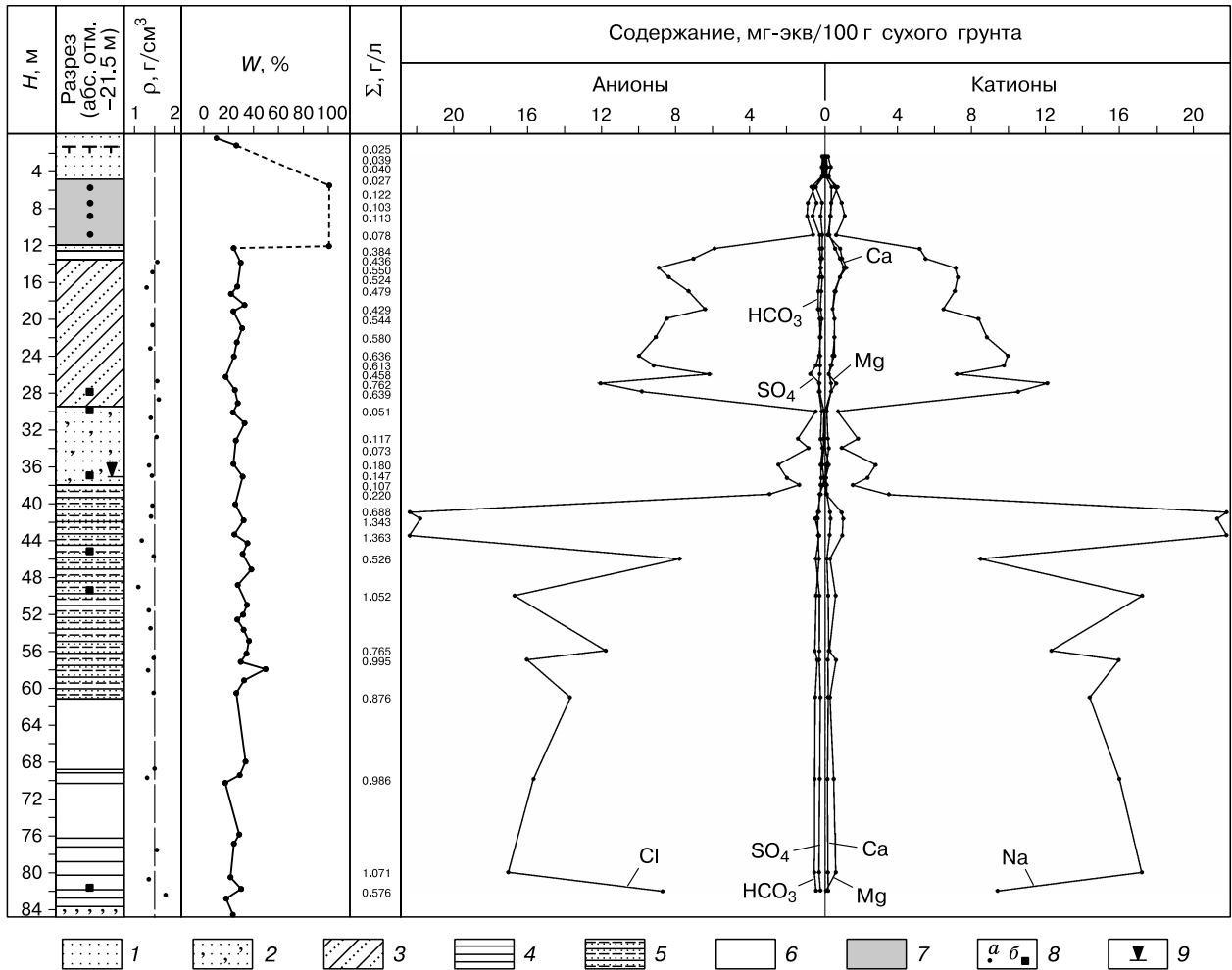


Рис. 8. Геологический разрез и солевой состав грунтов в скважине 3-01.

1 – песок мелкий; 2 – песок пылеватый; 3 – суглинок опесчаненный; 4 – алевритистая глина; 5 – переслаивание глины, алеврита и пылеватого песка; 6 – проходка без подъема керна; 7 – лед; 8 – точки отбора проб: а – на гидрохимию и изотопный состав льда, б – на минералогический состав грунта; 9 – подземная вода (криопэг). ρ – средняя плотность грунта. Остальные обозн. см. рис. 4.

глубже 38.2 м. Они по составу аналогичны алевритистой глине, вскрытой скважинами на морском шельфе. Картина засоленности глины в скв. 3-01 сходна с наблюдаемой в скважинах 15-14 и 16-14. Содержание солей изменяется в интервале 0.76–1.07 г на 100 г грунта; в составе ионов резко преобладают ионы Cl^- и Na^+ . Очевидно, что глины подверглись промыванию пресными водами, поскольку они перекрыты типично водными (озерными и речными(?)) [Гатауллин, 1991]) слоистыми песчано-глинистыми отложениями. Так же как и для отложений из морских скважин, в скв. 3-01 отмечается наличие в составе солей Na_2SO_4 и $Mg(HCO_3)_2$ и резкие колебания морских генетических индикаторов, аналогичных рассмотренным выше в разрезе шельфа (см. табл. 1, 2). Морской генезис этой толщи был установлен микроструктурными ис-

следованиями методом грануломинералогического анализа, разработанного А.В. Сурковым [Стрелецкая и др., 2009].

Что касается ритмично-слоистой глинистой толщи, вскрытой скважиной 3-01 в интервале 13.7–29.4 м, то ее генезис и возраст были установлены диатомовыми исследованиями Е.И. Поляковой (по образцам из берегового обнажения), соответственно, как озерный и миоценовый [Полякова, Данилов, 1989].

Песок, вскрытый на глубине 29.4–38.0 м, по видимому, является прибрежно-морским и аналогичен песку в скв. 16-14.

Решение вопроса об абсолютном возрасте донных отложений в скважинах 15-14 и 16-14 возможно лишь при детальном диатомовом анализе.

Результаты исследований диатомовых комплексов. Для изучения диатомовых комплексов в 2014 г. из керна скважин, пробуренных на шельфе, было отобрано 23 образца донных отложений: 3 из скв. 15-14 и 20 из скв. 16-14. Изученные образцы показаны на разрезе буровых скважин (см. рис. 4, усл. зн. 7). Образцы были обработаны по методу Баттарби [Battarbee, 1973] в Институте океанологии РАН и затем исследованы Е.И. Поляковой (МГУ).

В результате диатомового анализа в отложениях установлены обильные и таксономически разнообразные комплексы диатомей, представленные преимущественно вымершими палеогеновыми видами. Комплекс современных диатомей выявлен лишь в мелких песках верхней части разреза скв. 16-14 (0–1.8 м от поверхности дна), где он представлен солоноватоводно-морскими сублитогральными видами диатомей (*Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve, *Thalassiosira hyperborea* (Grunow) Hasle, *Navicula digitoradiata* (Gregory) Ralfs), типичными для современных и четвертичных осадков прибрежных опресненных районов шельфа Карского моря [Полякова, 1997; Polyakova, 2003].

Большая часть исследованного разреза скважин (скв. 16-14: интервал осадков 5.0–25.0 м; скв. 15-14: интервал 21.0–24.5 м), представленная алевритистыми глинами и алевритами, содержала исключительно створки вымерших морских видов диатомей, принадлежащих ископаемым палеогеновым видам. Палеогеновые диатомеи характеризуются хорошей сохранностью и высокой численностью. Какие-либо остатки четвертичных диатомей и силикофлагеллат в этих отложениях не обнаружены. Доминируют в выделенных комплексах вымершие разновидности морских тихоокеанских видов диатомей родов *Paralia*, *Anuloplicata*, *Hyalodiscus*, довольно многочисленны спикулы губок, что указывает на относительную мелководность морского бассейна. Полученные комплексы диатомей из двух скважин характеризуются большим видовым разнообразием (более 30 видов), в составе которых высокая численность отмечена у *Pyxilla gracilis* Tempère et Forti, *Grunowia gemmata* (Grunow) Van Heurck, *Coscinodiscus payeri* Grunow, *Pyxidicula arctica* (A. Schmidt) Strelnikova et Nikolaev, *Pyxidicula moelleri* (Grunow) Strelnikova et Nikolaev, *Coscinodiscus decrescens* Grunow, *Pyxidicula punctata* (Jousé) Strelnikova et Nicolaev, *Hemiaulus polymorphus* Grunow, *Pseudopodosira westii* (W. Smith) Sheshukova–Poretzskaya et Glezer, *Anuloplicata ornata* (Grunow) Glezer, *Paralia sulcata* var. *siberica* (Grunow) Grunow, *Hyalodiscus radiatus* (O'Meara) Grunow. В целом данные комплексы характеризуют диатомовую зону *Pyxilla gracilis* нижнего эоцена в тропической шкалы палеогена [Глезер, 1974; Стрельникова, 1992], которые установлены в отложениях

верхней подсвиты люлинворской свиты во многих районах Западной Сибири и восточного склона Северного Урала [Стрельникова, 1992; Орешкина и др., 2008; Ахметьев и др., 2010; Орешкина, 2012].

Необходимо отметить, что створки диатомей, принадлежащих морской палеогеновой флоре, широко распространены на севере Западной Сибири в четвертичных отложениях различного генезиса, где они находятся во вторичном залегании [Полякова, 1997; Скабичевская, 1984]. Свидетельством переотложения является в первую очередь экологическая несовместимость видов с генезисом вмещающих отложений, представленных, например, озерно-аллювиальными фациями. В морских четвертичных отложениях признак переотложения – это возрастная несовместимость диатомей, представленных видами с известным стратиграфическим диапазоном распространения в кайнозое. Кроме того, створки переотложенных диатомей, как правило, имеют плохую сохранность (частично разрушены или растворены).

Проведенные диатомовые исследования донных отложений, вскрытых скважинами ВСЕГИНГЕО на шельфе в районе мыса Марре-Сале, свидетельствуют о древнем морском генезисе донных отложений (по крайней мере до изобаты –5 м). Обильные и таксономически разнообразные комплексы диатомей, включающие индекс-виды зональной диатомовой шкалы палеогена, позволили с достаточной большой точностью установить стратиграфическое положение комплексов и вмещающих отложений (зона *Pyxilla gracilis* нижнего эоцена).

ВЫВОДЫ

Исследование верхней 20-метровой толщи донных отложений Приамальского шельфа, вскрытого в мае 2014 г. двумя буровыми скважинами ВСЕГИНГЕО, предназначенными для мониторинга температурного режима донных отложений, позволило сделать следующие выводы.

Оснащение буровых скважин автономной автоматической измерительной аппаратурой на базе “Логгер-4РС” дало возможность сразу получить значения температуры донных отложений и через три месяца снять мониторинговые замеры с частотой два раза в сутки. Температура донной поверхности в скв. 15-14 за период наблюдений (три месяца) изменилась от –1.9 до +4.0 °С. На глубине 20 м от дна температура донных отложений составила –1.4 °С в скв. 15-14 и –1.3 °С в скв. 16-14. В интервале 6–14 м за период наблюдений в скв. 15-14 температура понизилась на 0.1–0.4 °С.

Получены данные о составе и свойствах донных отложений Приамальского шельфа, которые позволили установить, что изученная толща представлена многолетнеохлажденными алевритистыми глинами и алевритами, имеющими пластичную

либо текучую консистенцию. Она представляет собой реликтовую мерзлую толщу, подвергшуюся криогенной метаморфизации в субаэральных условиях.

Впервые в регионе детально изучены диатомовые комплексы на Карском шельфе. Установлено, что диатомеи из 22 образцов глинистых отложений (взятых из обеих скважин) представлены морскими вымершими видами, характерными для диатомовой зоны *Ruxilla gracilis* нижнего эоцена и для верхней подсвиты люлинворской свиты Западной Сибири и Восточного Урала. И только в одном образце (в мелких песках) из верхней части разреза прибрежной скважины установлен комплекс современных морских сублиторальных диатомей.

Литература

- Анисимова Н.П.** Криогидрохимические особенности мерзлой зоны / Н.П. Анисимова. Новосибирск, Наука, 1981, 152 с.
- Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Яковлева А.И. и др.** Сравнительный анализ разрезов и биоты морского палеогена Западной Сибири и Арктики // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2010, т. 18, № 6, с. 78–103.
- Большая советская энциклопедия.** М., Сов. энциклопедия, 1976, т. 25, 600 с.
- Гатауллин В.Н.** Марресалинская свита Западного Ямала – отложения дельты Праоби // Бюл. комис. по изучению четвертичного периода. М., 1991, № 60, с. 53–61.
- Глезер З.И.** Эоценовые диатомеи // Диатомовые водоросли СССР. Л., Наука, 1974, т. I, с. 109–142.
- ГОСТ 25100.** Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. М., Стандарт, 2011, 36 с.
- Данилов И.Д.** Дислокации в мерзлых, содержащих пластовые льды плейстоценовых отложениях севера Западной Сибири // Формирование мерзлых пород и прогноз криогенных процессов. М., Наука, 1986, с. 28–41.
- Дубровин В.А.** Геокриологические исследования в системе недропользования: проблемы, задачи, пути решения // Разведка и охрана недр, 2009, № 9, с. 36–42.
- Дубровин В.А., Караванова М.Е., Куликов А.И., Федосеев А.В.** Автоматизированные средства измерений и геокриологические базы данных в системе ГМГС // Материалы Первой конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 1996, кн. 2, с. 457–465.
- Дубровин В.А., Крицук Л.Н.** Оценка динамики температурного режима мерзлых пород района Марре-Сале по данным мониторинговых наблюдений // Материалы Четвертой конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2011, т. 2, с. 236–243.
- Зубаков В.А., Левковская Г.М.** Стратиграфия новейших отложений низовьев Оби // Четвертичная геология и геоморфология Сибири. Новосибирск, Наука, 1968, ч. 1, с. 62–83.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д.** Ледниковые образования в районе пос. Марре-Сале на полуострове Ямал // Тр. ВСЕГЕИ, НС, 1982, т. 319, с. 77–84.
- Крицук Л.Н.** Подземные льды Западной Сибири / Л.Н. Крицук. М., Науч. мир, 2010, 350 с.
- Крицук Л.Н., Дубровин В.А.** Подземные льды и криогенные процессы района Марре-Сале (Западный Ямал) // Гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические исследования: Сб. статей ВСЕГИНГЕО. М., Геоинформмарк, 2000, с. 14–25.
- Крицук Л.Н., Дубровин В.А.** Результаты изучения геокриологических условий района Марре-Сале в глубоких скважинах // Материалы Междунар. конф. “Теория и практика оценки состояния криосферы Земли”. Тюмень, Изд-во “Нефтегазовый ун-т”, 2006, т. I, с. 247–251.
- Крицук Л.Н., Дубровин В.А., Ястреба Н.В.** Результаты комплексного изучения динамики береговой зоны Карского моря в районе метеостанции Марре-Сале с использованием ГИС-технологий // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 4, с. 59–69.
- Круподеров В.С., Дубровин В.А.** Проблемные аспекты изучения и освоения Арктической криолитозоны // Тр. Десятой конф. по мерзлотоведению. Тюмень, Печатник, 2012, т. 3, с. 275–279.
- Орешкина Т.В.** Признаки климатического оптимума раннего эоцена (ЕЕСО) в биокремнистых отложениях Западной Сибири и сопредельных районов // Тр. XV Всерос. микропалеонтологического совещ. “Современная микропалеонтология”. М., ГИН, 2012, с. 355–358.
- Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Александрова Г.Н.** Прямая корреляция зональных шкал бореального палеогена по диатомеям и диноцистам (по материалам скв. 19-У, пос. Усть-Манья, восточный склон Северного Урала) // Новости палеонтологии и стратиграфии: Прил. к журн. “Геология и геофизика”, 2008, т. 49, № 10–11, с. 347–350.
- Павлов А.В., Дубровин В.А., Харитонов Л.П.** Экспериментальное изучение термического режима грунтов в арктических районах Западной Сибири // Материалы Первой конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 1996, кн. 1, с. 310–320.
- Полякова Е.И.** Арктические моря Евразии в позднем кайнозое / Е.И. Полякова. М., Науч. мир, 1997, 145 с.
- Полякова Е.И., Данилов И.Д.** Миоцен крайнего севера Западной Сибири // Докл. АН СССР, 1989, т. 308, № 2, с. 428–431.
- Скабичевская Н.А.** Средне-поздчетвертичные диатомеи Приенисейского Севера / Н.А. Скабичевская. М., Наука, 1984, 157 с.
- Слагода Е.А., Опокина О.Л., Рогов В.В., Курчатова А.Н.** Строение и генезис подземных льдов в верхнеэоценовых отложениях мыса Марре-Сале (Западный Ямал) // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 2, с. 9–22.
- Справочник гидрогеолога /** Под общей ред. М.Е. Альтовского. М., Госгеолтехиздат, 1962, 616 с.
- Стрелецкая И.Д., Шполянская Н.А., Крицук Л.Н., Сурков А.В.** Кайнозойские отложения Западного Ямала и проблема их генезиса // Вестн. МГУ. Сер. 5. География, 2009, № 3, с. 50–57.
- Стрельникова Н.И.** Палеогеновые диатомовые водоросли / Н.И. Стрельникова. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1992, 311 с.
- Фотиев С.М.** Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты) / С.М. Фотиев. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2009, 280 с.
- Battarbee R.W.** A new method for estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms // Limnol. Oceanogr., 1973, vol. 18, p. 647–654.
- Polyakova Ye.I.** Diatom assemblages in surface sediments of the Kara Sea (Siberian Arctic) and their relationship to oceanological conditions // Siberian river run-off in the Kara Sea. Characterisation, quantification, variability and environmental significance / Ed. by R. Stein, K. Fahl, D.K. Fütterer, E.M. Galimov, O.V. Stepanets. N.Y. etc., Elsevier, 2003, p. 375–400.

Поступила в редакцию
28 января 2015 г.