

УДК 551.345.2

## ВАРИАЦИИ $\delta^{18}\text{O}$ И $\delta\text{D}$ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ПЛАСТОВЫХ ЛЬДАХ В УСТЬЕ РЕКИ САБЕТТА-ЯХА, СЕВЕРНЫЙ ЯМАЛ

© 2016 г. Ю. К. Васильчук<sup>1,\*</sup>, Е. Е. Подборный<sup>2</sup>, Н. А. Буданцева<sup>1</sup>,  
А. К. Васильчук<sup>1</sup>, А. Н. Суллина<sup>2</sup>, Ю. Н. Чиждова<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН Н.С. Касимовым 17.06.2014 г.

Поступило 05.11.2015 г.

Исследованы условия формирования пластовых ледяных залежей в районе Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на севере Ямала. Показано, что пластовые ледяные залежи мощностью до 4.5 м залегают в голоценовых отложениях высокой лайды и первой террасы и, естественно, также голоценовые; следовательно, они не могут быть остатками ледников и являются внутри-грунтовыми ледяными образованиями. Изотопный состав всех трех типов залежей весьма разнообразен: значения  $\delta\text{D}$  от  $-107$  до  $-199.7$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-15.7$  до  $-26.48\text{‰}$ . Такая существенная дифференциация изотопного состава – следствие криогенного фракционирования в промерзающей водонасыщенной толще. Самые отрицательные изотопные значения в этих голоценовых ледяных залежах даже ниже, чем в позднеплейстоценовых повторно-жильных льдах Ямала.

DOI: 10.7868/S0869565216290259

Цель работы – уточнить условия формирования пластовых ледяных залежей в районе Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения (ГКМ) на севере Ямала (рис. 1) и показать, что пластовые льды здесь преимущественно автохтонного, сегрегационного типа и формировались в голоцене сингенетически в процессе промерзания накапливающихся водонасыщенных грунтов при интенсивном криогенном фракционировании. Южно-Тамбейское ГКМ находится в устье р. Сабетта-Яха (южнее устья р. Тамбей). Было открыто в 1974 г. – это приоритетный национальный проект с потенциальным уровнем добычи газа 27 млрд кубометров в год. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет  $-10.2^\circ\text{C}$ . Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород от  $-1.7$  до  $-6.5^\circ\text{C}$ .

Исследованный участок располагается в пределах высокой морской лайды и останцов первой лагунно-морской террасы на абсолютных отметках рельефа 4–7 м. Изученная криогенная толща на глубину до 30 м представлена голоценовыми отложениями, подстилаемыми на глубинах 19–27 м позднеплейстоценовыми суглинками.

В пределах ГКМ широко распространены крупные скопления пластовых льдов. Мы проанализировали данные 185 скважин глубиной 20–35 м. Основная масса ледяных залежей размещается в голоценовых породах лагунно-морского и озерно-болотного генезиса. Залежи подземного льда в виде пластов, более или менее однородных



Рис. 1. Расположение Южно-Тамбейского ГКМ на п-ове Ямал.

<sup>1</sup>Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>ООО Центр гидроэкологических исследований,  
Санкт-Петербург

\*E-mail: vasilch-geo@mail.ru

Таблица 1. Интервалы залегания крупных залежей подземного льда в районе ГКМ

№ скв.	Абс. выс., м	Интервал залегания ледяного пласта, м				Мощность пласта льда, м	№ скв.	Абс. выс., м	Интервал залегания ледяного пласта, м				Мощность пласта льда, м
		Кровля		Подошва					Кровля		Подошва		
		Глубина	Абс. отм.	Глубина	Абс. отм.				Глубина	Абс. отм.	Глубина	Абс. отм.	
1	5.32	8.8	-3.5	11.3	-6.0	2.5	27	5.76	13.1	-7.3	13.6	-7.8	0.5
2	4.93	9.6	-4.7	12.5	-7.6	2.9	28	5.50	4.9	0.6	6.2	-0.7	1.3
5	5.05	2.3	2.8	3.0	2.1	0.7	29	6.84	4.8	2.0	6.8	0.0	2.0
		4.1	0.9	5.4	-0.4	1.3			30	7.01	5.7	1.3	7.0
6	4.80	2.7	2.1	6.0	-1.2	3.3	31	7.06			8.8	-1.8	9.0
7	4.28	10.3	-6.0	12.5	-8.2	2.2			32	7.05	8.4	-1.3	8.7
8	4.45	4.8	-0.4	5.7	-1.3	0.9	33	6.48			2.5	4.6	3.6
		12.7	-8.3	13.4	-9.0	0.7			34	5.85	10.1	-3.1	10.5
9	1.83	0.6	1.2	3.2	-1.4	2.6	35	7.26			2.5	4.0	4.7
10	1.44	1.5	-0.1	1.7	-0.3	0.2			36	7.38	3.8	2.1	6.3
11	1.37	5.5	-4.1	6.0	-4.6	0.5	37	6.83			13.1	-7.3	13.6
12	4.5	5.5	-1.0	7.0	-2.5	1.5			38	3.87	3.0	4.3	3.5
13	3.43	8.7	-5.3	9.5	-6.1	0.8	39	4.17			7.3	0.0	8.7
14	2.77	6.7	-3.9	7.0	-4.2	0.3			40	4.86	4.5	2.9	7.9
15	4.77	3.5	1.3	8.0	-3.2	4.5	41	3.47			3.4	3.4	6.6
16	3.64	7.2	-3.6	8.0	-4.4	0.8			42	5.72	0.7	3.2	2.2
		8.5	-4.9	9.0	-5.4	0.5	43	6.02			1.3	2.9	1.6
17	1.56	6.9	-5.3	9.2	-7.6	2.3			44	3.43	5.3	-0.4	5.5
18	3.36	3.7	-0.3	4.5	-1.1	0.8	45	3.47			5.0	-1.5	5.5
19	3.56	4.3	-0.7	4.7	-1.1	0.4			46	3.47	8.1	-4.6	9.2
20	3.46	3.5	0.0	5.0	-1.5	1.5	47	3.47			0.7	5.0	3.4
21	3.11	21.1	-18.0	21.4	-18.3	0.3			48	3.47	10.6	-4.9	12.5
22	3.39	8.0	-4.6	10.4	-7.0	2.4	49	3.47			10.6	-4.6	11.8
23	5.37	8.7	-3.3	10.4	-5.0	1.7			50	3.47	10.6	-4.6	11.8
24	5.25	2.0	3.3	4.7	0.6	2.7	51	3.47			9.3	-5.9	11.0
25	5.13	1.5	3.6	4.6	0.5	3.1			52	3.47	2.7	3.8	3.6
26	4.19	10.0	-5.8	10.3	-6.1	0.3	53	3.47			10.9	-4.4	12.2

по составу, толщиной от первых сантиметров до нескольких метров и протяженностью в горизонтальном направлении иногда на десятки метров, встречены в 43 скважинах (табл. 1). Особое внимание привлекают 3 скважины – 12, 17, 42, в которых был произведен отбор мерзлых образцов грунта и льда и выполнены изотопные определения.

В скважинах (рис. 2) сверху вниз вскрыты:

Скв. 12, абс. выс. устья 4.50 м

0–4 м. Насыпной грунт: песок мелкий, желто-серый, слабльдистый;

4–4.4 м. Лед коричневатый, неслоистый;

4.4–5.5 м. Ил суглинистый, черный, незасоленный, слабльдистый;

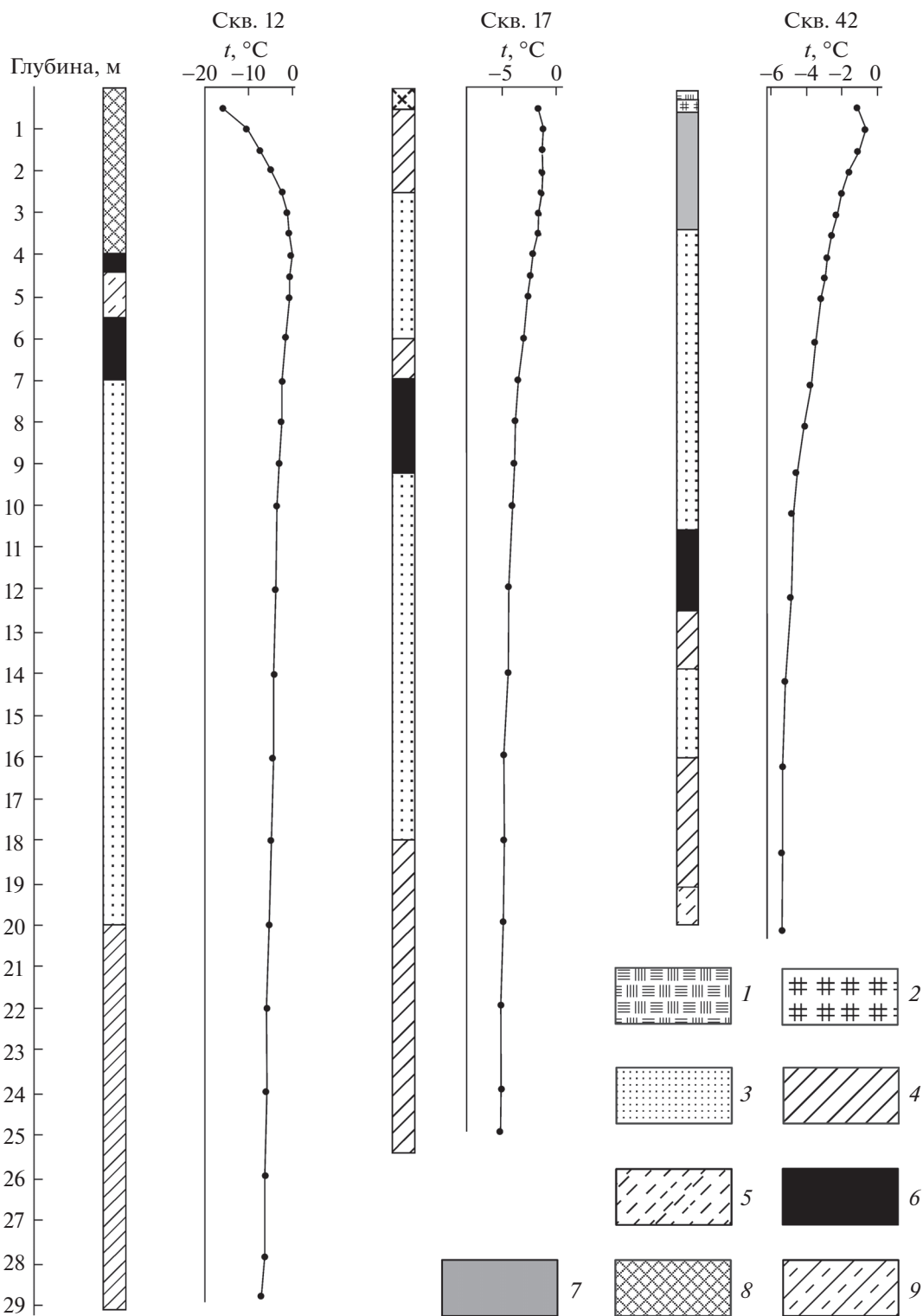
5.5–7 м. Лед коричневатый, неслоистый, монолитный с большим количеством воздушных включений, воздушные пузырьки менее 1 мм, с примесью тонкодисперсного материала, кристаллы льда призматической формы;

7–20 м. Песок мелкий, серо-коричневый, слабозасоленный, слабльдистый;

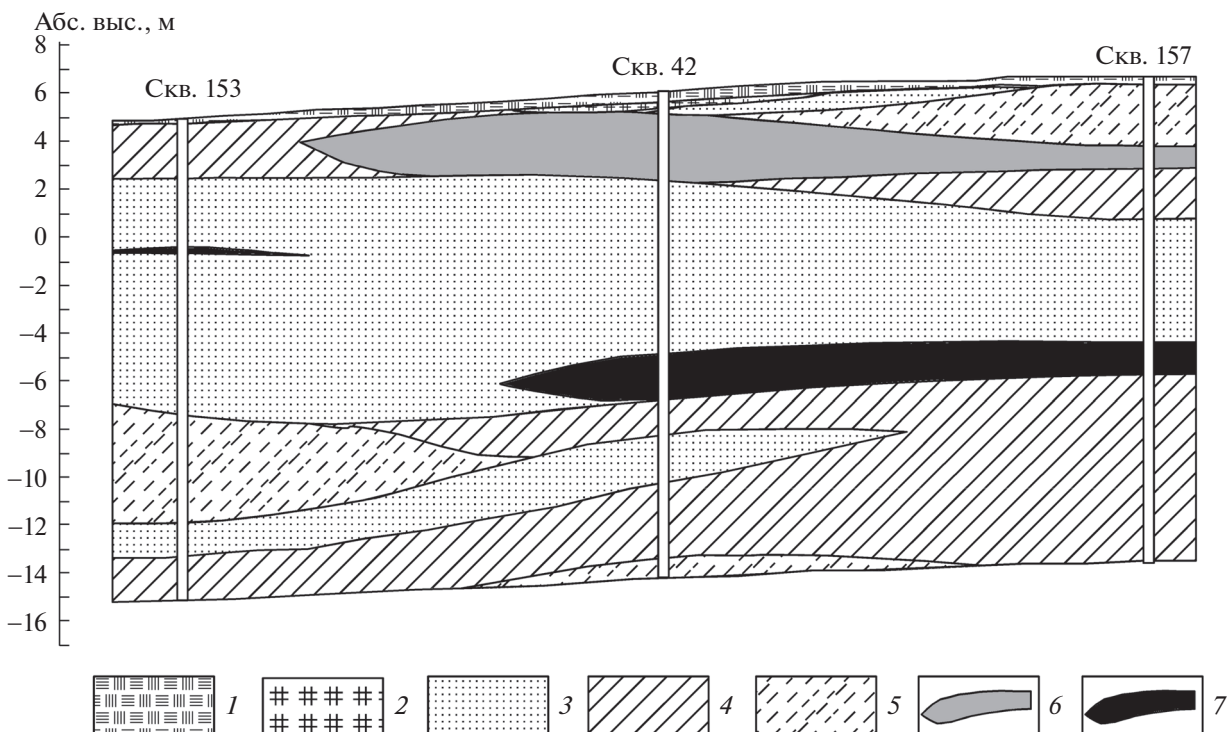
20–29.4 м. Суглинок легкий, темно-серый, средnezасоленный, слабльдистый.

Скв. 17, абс. выс. устья 1.56 м

0–0.8 м. Суглинок серый, с примесью органики до 10% и прослоями;



**Рис. 2.** Скважины в толще многолетнемерзлых отложений с пластовыми льдами на Южно-Тамбейском ГКМ. 1 – мхово-растительный слой, 2 – торф, 3 – песок, 4 – суглинок, 5 – супесь, 6 – лед пластовый коричневый вертикально-слоистый, 7 – лед пластовый белый, коричневый, неслоистый, 8 – насыпной грунт, 9 – ил суглинистый.



**Рис. 3.** Разрез многолетнемерзлых отложений первой лагунно-морской террасы с пластовыми льдами на Южно-Тамбейском ГКМ. 1 – мохово-растительный слой, 2 – торф, 3 – песок, 4 – суглинок, 5 – супесь, 6 – лед пластовый, коричневый, вертикальнослоистый, 7 – лед пластовый, белый горизонтальнослоистый.

0.8–2 м. Супесь серая, пластичная, с включениями органического вещества;

2–5.5 м. Песок мелкий с прослоями пылевато-го, коричневатого-серый, льдистый;

5.5–6.9 м. Суглинок легкий, коричневатого-серый, слабодистый; в интервале 6.8–6.9 м – торф слаборазложившийся;

6.9–9.2 м. Лед белый, горизонтальнослоистый, прозрачный, с примесью супеси до 1–2%, кристаллы льда крупные, неправильной формы, включения воздушных пузырьков 0.5–1 мм;

9.2–17.5 м. Песок мелкий, бежево-коричневый, слабозасоленный;

17.5–25 м. Суглинок тяжелый, темно-серый, черный, сильнозасоленный.

Скв. 42, абс. выс. устья 5.72 м

0–0.1 м. Мохово-растительный слой с корнями;

0.1–0.3 м. Торф коричневый, льдистый, сильноразложившийся;

0.3–0.6 м. Песок мелкий, серый, слабозасоленный, слабодистый;

0.6–3.4 м. Ледогрунт и лед коричневый, вертикально- и косовертикальнослоистый, состоящий из чередования жилок льда и грунта, шириной 0.2–2 мм, часто слабоизвилистых, примесь минерального грунта до 6–8%;

3.4–10.6 м. Песок мелкий, коричневый, слабозасоленный, слабодистый;

10.6–12.5 м. Лед белый, с примесью минерального грунта до 1–2%;

12.5–13.9 м. Суглинок тяжелый, незасоленный, льдистый;

13.9–16.0 м. Песок мелкий, коричневый, незасоленный, слабодистый;

16.0–19.1 м. Суглинок легкий, темно-серый, незасоленный, слабодистый;

19.1–20 м. Супесь коричнево-серая, незасоленная, слабодистая.

По морфологии каждую из описанных залежей пластового льда можно отнести к гомогенным [1]. Бурение скважин показывает, что кровля залежей льда расположена непосредственно от подошвы сезонноталого слоя с глубины 0.6 м до 21.1 м от поверхности земли. Подошва залежей льда встречается на глубинах 1.6–21.4 м. Мощность льда, вскрытая скважинами, 0.2–4.5 м, в среднем 1.4 м. Лед пресный.

В 14 скважинах в многолетнемерзлых породах встречаются криопэги. Большинство линз криопэгов имеют температуру от –5.2 до –5.6°C. В разрезах встречено несколько линз криопэгов, различающихся напорами и минерализацией воды, что свидетельствует об отсутствии гидравлической

**Таблица 2.** Вариации  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $d_{\text{exc}}$  в голоценовых пластовых ледяных залежах в районе Южно-Тамбейского ГКМ

Номер образца	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$d_{\text{exc}}$ , ‰	Номер образца	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$d_{\text{exc}}$ , ‰
Скв. 12, глубина 6.5–6.8 м, лед коричневый, неслоистый				Скв. 42, глубина 1.3–1.6 м, лед коричневый, вертикальнослоистый			
12/1	–150.4	–19.98	9.44	42/8	–197.6	–26.07	10.96
12/2	–147.6	–19.11	5.28	42/9	–194.8	–25.92	12.56
12/3	–152.8	–20.21	8.88	42/10	–194.7	–25.76	11.38
12/4	–155.6	–20.19	5.92	42/11	–193.4	–26.04	14.92
12/5	–151.8	–20.55	12.6	42/12	–192.7	–25.33	9.94
12/6	–149.7	–20.22	12.06	42/18	–193.8	–26.24	16.12
12/7	–154.8	–20.18	6.94	42/19	–196.5	–26.12	12.46
Скв. 17, глубина 8.3–8.5 м, лед белый, прозрачный				42/20	–198.5	–26.46	13.18
17/13	–107.1	–55.77	19.06	42/21	–197.2	–26.25	12.8
17/14	–110.5	–15.79	15.82	42/22	–198.3	–26.12	10.66
17/15	–114.2	–16.02	13.96	42/23	–197.2	–26.01	10.88
17/16	–113.5	–16.06	14.98	42/24	–194.5	–25.65	10.7
17/17	–114.9	–15.74	11.02	42/25	–194.5	–26.07	14.06
17/32	–115.3	–15.89	11.82	42/26	–196.2	–26.24	13.72
17/33	–112.5	–15.87	14.46	42/27	–199.3	–26.23	10.54
17/34	–119.8	–15.73	6.04	42/28	–198.6	–26.36	12.28
17/35	–118.8	–15.80	7.6	42/29	–199.7	–26.28	10.54
17/36	–113.2	–15.57	11.36	42/30	–197.2	–26.48	14.64
17/37	–112.9	–15.62	12.06	42/31	–199.7	–25.98	8.14

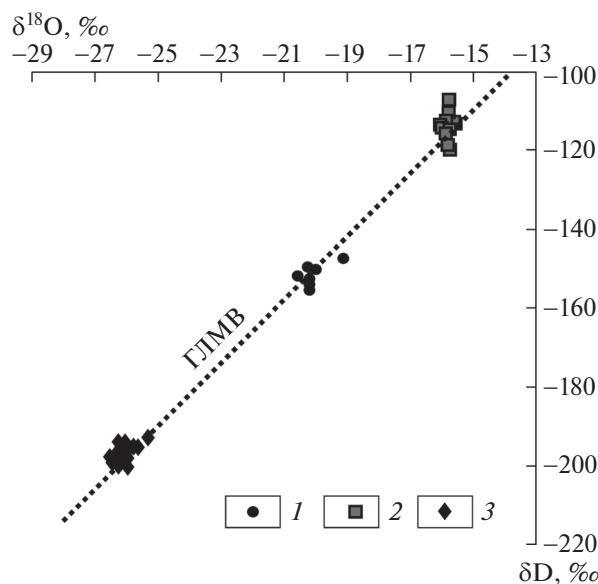
связи между ними. Протяженность линз криопэгов часто не превышает расстояния между скважинами, и линзы криопэгов, вероятнее всего, не связаны между собой, даже находясь на одинаковой глубине. Воды криопэгов соленые, хлоридно-магниевого, хлоридно-натриевого, с минерализацией 62.35–93.10 г/л.

Льды сосредоточены в песчано-глинистых, песчаных, глинистых отложениях и приурочены обычно к контакту этих разностей или к месту их фациального замещения (рис. 3).

Лед залежей имеет общие черты строения. Лед серый, белый, желтовато-серый или коричневатого-серый, прозрачный или мутный, без примеси или с примесью органических включений, прослоек песчаных и супесчаных частиц от 5–10 до 35%, с включениями пузырьков воздуха. Пластовый лед имеет слоистую текстуру, образованную неравномерно распределенными во льду минеральными примесями и включениями газа. Во льдах разных типов: коричневом, неслоистом; белом, горизонтальнослоистом; коричневом, вертикальнослоистом выполнен анализ содержания дейтерия и тяжелого кислорода. Коричневый неслоистый лед датирован по  $^{14}\text{C}$  методом AMS –  $5932 \pm 39$  лет (OxA-X-2650-57).

Вариации стабильных изотопов во льду исследовали в изотопной лаборатории географического факультета МГУ на масс-спектрометре “Delta-V” со стандартной опцией газ-бенч. Для измерений использовали международный стандарт среднеокеанической воды V-SMOW ( $\delta^{18}\text{O} = 0$ ,  $\delta\text{D} = 0$ ‰), международный стандарт GISP ( $\delta^{18}\text{O} = -24.76$ ,  $\delta\text{D} = -189.5$ ‰), лабораторные стандарты МАГАТЭ (IAEA-12,  $\delta^{18}\text{O} = -12.10$ ,  $\delta\text{D} = -85.9$ ‰; IAEA-13,  $\delta^{18}\text{O} = -33.35$ ‰,  $\delta\text{D} = -257.2$ ‰), собственный лабораторный стандарт МГУ – снег ледника Гарабаши ( $\delta^{18}\text{O} = -15.60$ ,  $\delta\text{D} = -110.0$ ‰). Точность определений  $\delta^{18}\text{O}$  0.1,  $\delta\text{D} = 0.6$ ‰.

В коричневом неслоистом льду из скв. 12  $\delta\text{D}$  от –147.62 до –155.57‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от –19.11 до –20.55‰, в белом горизонтальнослоистом льду из скв. 17  $\delta\text{D}$  от –107.1 до –119.8‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от –15.73 до –16.06‰, в коричневом, вертикальнослоистом льду, с примесью минерального грунта из скв. 42 отмечены экстремально низкие значения  $\delta\text{D}$  от –194.5 до –199.7‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от –25.33 до –26.48‰ (табл. 2). Отметим, что столь низкие  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , зафиксированные в коричневом, вертикальнослоистом льду, – уникальный случай не только для голоценовых подземных льдов Ямала [2], но и для суше-



**Рис. 4.** Соотношение  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  в голоценовых пластовых ледяных залежах в районе Южно-Тамбейского ГКМ. 1 – в коричневом, неслоистом льду – скв. 12; 2 – в белом, горизонтальнослоистом льду – скв. 17; 3 – в коричневом, вертикальнослоистом льду – скв. 42 и расположение точек относительно глобальной линии метеорных вод Х. Крейга – ГЛМВ.

ственно изотопически более легких позднплейстоценовых льдов. Напомним, что в формировавшихся из зимнего снега сеяжинских повторно-жильных льдах позднплейстоценового криохрона  $\delta^{18}O$  не опускалась ниже  $-25$ ,  $\delta D$  – ниже  $-189$ ‰ [3, 4]. Для сравнения приведем изотопные характеристики, полученные нами для позднплейстоценовых пластовых льдов Ямала: в пластовых залежах в долине р. Еркута-Яха  $\delta D$  от  $-149.6$  до  $-172.7$ ‰,  $\delta^{18}O$  от  $-19.24$  до  $-23.42$ ‰ [5], в ледяных пластах в верховьях р. Мордыяха  $\delta D$  от  $-164.8$  до  $-172.9$ ‰,  $\delta^{18}O$  от  $-21$  до  $-23.3$ ‰ [6], в ледяных пластах в пределах Бованенковского ГКМ  $\delta D$  от  $-91.7$  до  $-177.1$ ‰,  $\delta^{18}O$  от  $-12.49$  до  $-23.13$ ‰ [7]. Не достигают столь экстремально низких значений содержания тяжелых изотопов водорода и кислорода и в других ямальских и гыданских позднплейстоценовых пластовых залежах, изученных в последние годы: у пос. Харасавэй  $\delta D$  не ниже  $-197.5$ ‰,  $\delta^{18}O$  не ниже  $-26.26$ ‰ [8], в долине р. Ою-Яха  $\delta D$  не ниже  $-163.6$ ,  $\delta^{18}O$  не ниже  $-25.5$ ‰ [9]. В разрезе Марре-Сале в пластовых и повторно-жильных позднплейстоценовых льдах  $\delta D$  не ниже  $-190.6$ ‰,  $\delta^{18}O$  не ниже  $-24.8$ ‰ [10]. Даже в мощной ледяной пластовой залежи Ледяная Гора на Енисее  $\delta^{18}O$  не ниже  $-23.5$ ‰ [11, 12].

Видимо, единственный случай, когда на севере Западной Сибири был встречен лед с более низким изотопным составом – линзовидные за-

лежи в устье р. Гыда, где  $\delta^{18}O$  от  $-16.2$  до  $-34.3$ ‰, что явилось результатом криогенного фракционирования при формировании внутригрунтового инфильтрационно-сегрегационного льда [4]. Это свидетельствует о том, что низкие изотопные значения, встреченные в коричневом, вертикальнослоистом льду из скв. 42, – результат значительного криогенного фракционирования, произошедшего при образовании внутригрунтового льда в голоцене. Подчеркнем при этом засоленность пеков, вмещающих этот пласт, наряду с ультрапресным и очень легким изотопным составом льда.

Голоценовый возраст ледяных пластов подтвердил и анализ спорово-пыльцевых остатков. В коричневом, вертикальнослоистом льду, с примесью минерального грунта из скв. 42 доминирует пыльца ольховника, встречены пыльца карликовой березки, осок, верескоцветных и споры зеленых и сфагновых мхов и хвощей. Все пыльцевые зерна плохой сохранности, часто в оболочке из глинистых частиц. Это позволяет предположить, что спектр льда типично голоценовый, как и присутствующий поймам и лайдам Тамбейско-Сабетта-Яхинского побережья Ямала [13]. Глинистая оболочка и плохая сохранность зерен, возможно, индикатор того, что пыльца и споры внесены в лед из вмещающих отложений. Присутствие спор хвощей указывает на водный генезис воды, питающей лед.

В белом горизонтальнослоистом льду из скв. 17 на фоне очень низкой концентрации пыльцы и спор встречены прекрасно сохранившиеся пыльцевые зерна карликовой березки с вакуолями клеточного сока. Это говорит о том, что эти зерна попали в лед без переотложения и дальнейшего переноса, т.е. в снег либо воду, которая сразу же замерзла.

Наиболее вероятным нам представляется формирование в голоценовых осадках пластовых внутригрунтовых льдов разного типа и существенно различающегося изотопного состава в ходе лагунно-морского криолитогенеза, когда по мере утраты связи с морем возникали замкнутые лагуны и начиналось промерзание голоценовых отложений в толщах, выходящих из-под воды кос, островов, баров. Отжимаемые промерзанием подмерзлотные воды скапливались в нижележащих осадках и формировали криопэги.

Особое внимание в изученных пластовых льдах привлекают два аспекта.

1. Пластовые ледяные залежи мощностью до 4.5 м залегают в голоценовых отложениях высокой лайд и первой террасы и, естественно, также голоценовые; следовательно, они не могут быть остатками ледников и являются внутригрунтовыми ледяными образованиями.

2. Изотопный состав всех трех типов залежей весьма разнообразен:  $\delta\text{D}$  от  $-107$  до  $-199.7$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  от  $-15.7$  до  $-26.48\text{‰}$  (рис. 4). Такая существенная дифференциация изотопного состава – следствие криогенного фракционирования в промерзающей толще. Наиболее отрицательные изотопные значения в этих голоценовых ледяных залежах даже ниже, чем в позднеплейстоценовых повторно-жильных льдах Ямала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 14–27–00083.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю.К. // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 1. С. 40–51.
2. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геоэкологии и гляциологии. М.: Изд-во МГУ, 2000. 616 с.
3. Vasil'chuk Yu.K., van der Plicht J., Jungner H., Vasil'chuk A.C. // Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research. Sect. B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2000. V. 172. P. 637–641.
4. Vasil'chuk Yu.K. // Permafrost and Periglacial Processes. 2013. V. 24. № 1. P. 82–93.
5. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Васильчук А.К. // ДАН. 2011. Т. 438. № 3. С. 400–405.
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А. // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 204–208.
7. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чиждова Ю.Н., Панеш В., Подборный Е.Е., Сулержицкий Л.Д. // ДАН. 2009. Т. 428. № 5. С. 675–681.
8. Belova N.G., Solomatin V.I., Meyer H. Abstracts from the Third European Conference on Permafrost. Svalbard: The Univ. Centre in Svalbard, 2010. P. 284.
9. Belova N.G., Solomatin V.I., Romanenko F.A. Permafrost. Proc. IX Intern. Conf. Fairbanks: Inst. Northern Eng. Univ. Alaska, 2008. V. 1. P. 107–112.
10. Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Матюхин А.Т. // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 83–92.
11. Vaikmae R.A., Michel F.A., Solomatin V.I. // Boreas. 1993. V. 22. P. 205–213.
12. Vaikmae R.A., Solomatin V.I., Karpov Y.G. Proc. V Intern. Conf. Permafrost. August 2–5, 1988. Trondheim, 1988. V. 1. P. 484–489.
13. Васильчук А.К. Особенности формирования палиноспектров в криолитозоне России. М.: Изд-во МГУ, 2005. 245 с.