

УДК551.343: 550.461

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДОВ И ОТЛОЖЕНИЙ НА СЕВЕРЕ ПОЛУОСТРОВА ГЫДАН

В. И. Бутаков^{1,2}, Я. В. Тихонравова¹, Е. А. Слагода^{1,2,3}

¹*Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, Россия*

²*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

³*Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия*

Аннотация. В 2016 году было проведено исследование подземных льдов и мерзлых толщ на севере полуострова Гыдан. Определены гранулометрический и геохимический состав мерзлых отложений и гидрохимический состав подземных льдов. Выявлена связь состава и генезиса льдов с условиями накопления и промерзания отложений.

Ключевые слова: геохимия грунтов; гидрохимия льда; полигонально-жильный лед; ледогрунтовые жилы; сегрегационный лед; лед термоабразионной ниши

REGULARITIES OF GEOCHEMICAL COMPOSITION FORMATION OF UNDERGROUND ICE AND DEPOSITS ON THE NORTH OF THE GYDAN PENINSULA

V. I. Butakov^{1,2}, Ya. V. Tikhonravova¹, E. A. Slagoda^{1,2,3}

¹*Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia*

²*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

³*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

Abstract. The study of underground ice and frozen soils on the north of the Gydan Peninsula was made in 2016. The article is devoted to the results of the study. The granulometric and geochemical composition of the frozen deposits, the hydrochemical composition of the underground ice were determined. The interrelation between the composition and genesis of ice, with accumulation and freezing conditions of deposits was identified.

Key words: geochemistry of soils; hydrochemistry of ice; ice wedge; composite wedges; segregated ice; ice of thermoerosional niche

Введение

Химический состав подземных льдов отражает особенности гидрохимических условий периода их развития и может быть критерием при палеогеокриологических реконструкциях. На сегодняшний день изучены особенности формирования химического состава разных типов подземного льда, установлены общие закономерности кристаллизации при промерзании воды в породах: температуры начала замерзания в зависимости от солевого состава воды, криогенное концентрирование, изменение ионного состава воды [1–4]. Установлена взаимосвязь источников воды, химического состава и генетических типов подземных льдов с условиями промерзания отложений [2]. В последние годы химическому составу полигонально-жильных льдов (ПЖЛ) уделяется меньше внимания, чем пластовым льдам. Геохимический состав голоценовых сингенетических ПЖЛ был определен на полуострове Ямал: в жилах торфяников в долине реки Щучьей, в пойменных отложениях рек Еркутаяхи и Ляккатосе и в отложениях лайды в районе пос. Мыс Каменный [5]. На Западном Ямале, островах Белый и Сибирякова в Карском море

изучены строение, генезис и химический состав подземных льдов, в том числе ПЖЛ, установлена их связь с генезисом отложений [6, 7].

Фактических данных о химическом составе ПЖЛ на севере Гыданского полуострова мало, а многолетнемерзлые вмещающие отложения недостаточно изучены [4]. По данным исследователей, отложения с ПЖЛ на севере Гыданского полуострова относят к осадкам разного генезиса: ледниковым и гляциофлювиальным¹, аллювиальным I-й террасы сартанского возраста 14–11 тыс. лет назад [8, 9], озерно-аллювиальным отложениям II-й террасы².

Район и методы исследований

В 2016 году в районе устья реки Гыды в береговых уступах останцов и хасырей (осушенная озерная котловина) II-й озерно-аллювиальной террасы выполнены расчистки мерзлых отложений (рис. 1). Изучены криогенное строение толщи, морфология и строение подземных льдов. Определен состав водорастворимых солей льдов в 8 образцах и вмещающих отложений в 15 пробах. Химический анализ был выполнен из свежих отфильтрованных расплавов монолитов льда, что обеспечило сохранность естественного состава.

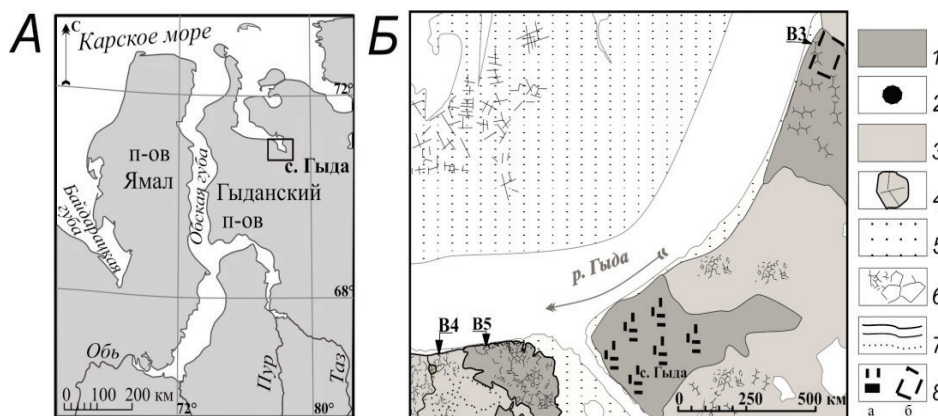


Рис. 1. Район исследований (А), расположение расчисток (Б) в пределах геоморфологических уровней II-й озерно-аллювиальной террасы:

- 1 — останцы террасы (плакоры); 2 — хасырей на водораздельной поверхности;
- 3 — эрозионно-термокарстовые ложбины и хасыреи; 4 — бугор пучения в хасырее;
- 5 — пойма, пляжи и прирусловые отмели; 6 — полигональный рельеф;
- 7 — контуры геоморфологических уровней, контуры береговых линий осушенных озер;
- 8 — застроенная территория с. Гыда (а), карьер (б)

Для определения химического состава льда и водных вытяжек образцов пород использованы следующие методы: ионометрическое титрование (HCO_3^-)^{3,4},

¹ Карта четвертичных образований территории Российской Федерации. Масштаб 1:2500 / Сост. ФГУП «ВСЕГЕИ»; ред. О. В. Петров, А. Ф. Морозов. — 2014.

² Карта плиоцен-четвертичных образований. Масштаб: 1:1000000 / Г. И. Ред. Колотушкина, Н. Ю. Смирнова. — СПб.: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2000.

³ ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 4 с.

⁴ ПНД Ф 14.1:2:3.99-97. Количественный химический анализ вод. — Ростов н/Д, 2017. — 23 с.

титриметрия (Cl^-)^{5,6}, ($\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$)^{7,8}, турбидиметрия (SO_4^{-2})⁹, фотометрия ($(\text{Fe}^{2+,3+})$)¹⁰, азотсодержащие¹¹, мутность по каолину), расчетные методы ((Na^++K^+))¹², минерализация по катионно-анионному составу), ионометрия (pH)^{13,14}, кондуктометрия (УЭП) (минерализация в пересчете на NaCl). Приведены результаты суммы ионов Fe^{+2} и Fe^{+3} в пересчете на массовую концентрацию Fe^{+3} . Анализ проведен в аналитической лаборатории НИПИ «Нефтегазпроект» Тюменского индустриального университета.

Гранулометрический состав пород определен на лазерном гранулометре Mastersizer 3000 (Malvern) в Институте креосферы Земли ТюмНЦ СО РАН. Содержание органического вещества в породах оценено по потерям при прокаливании в муфельной печи при температуре 450 °С (ППП). Содержание растворенного органического вещества (гумус) определено методом перманганатной окисляемости¹⁵.

Строение, состав отложений и льдов останцов

II-й озерно-аллювиальной террасы

Останцы террасы, высотой 9,5 м (B5) и 4,0 м (B3) (см. рис. 1 Б), имеют сухую наклонную к озеру поверхность с плоскими и выпуклыми полигонами, межполигональными понижениями, с мохово-травянистой и кустарничковой растительностью. Полигоны размером 14 x 18 м разбиты на более мелкие — 3,6 x 7,8 м.

Разрез останца II-й озерно-аллювиальной террасы (B5, B3, снизу вверх), вскрыл следующие слои.

Слой 1. Серая супесь пылеватая с прослоями коричневатой заторфовой супеси, с подчиненными прослоями мелких песков. Криотекстура массивная, тонкая частая линзовидная и линзовидно-сетчатая, влажность (W) — 57 %. Видимая мощность — 1,2–2,0 м.

Слой 2. Переслаивание светло-желтых песков, светло-серых суглинков (11 % глинистых, 61 % пылеватых частиц) с линзами намытых растительных остатков, с тонкой косой, горизонтальной, пологоволнистой, параллельной слоистостью. Слои изогнуты вниз вдоль ледяной жилы с песчаными включениями в интервале глубин 4,0–4,5 м и вверх вблизи жилы на глубину 2,0–4,0 м. В нижней части слоя преобладают сизые пятна соединений закисного железа. До глубины 1,3 м отложения мерзлые; криогенная текстура массивная, микролинзовидная, частая линзовидная, неполно-сетчатая, вблизи ледяной жилы отмечены вертикальные тонкие прожилки льда; W — от 27–29 до 56–77 %. Мощность — 6,7 м. Состав водной вытяжки песков — сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный, натриево-кальциевый (табл. 1, 2, рис. 2).

⁵ ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 9 с.

⁶ ПНД Ф 14.1:2:3.96-97. Количественный химический анализ вод. — М., 2016. — 20 с.

⁷ ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. — М.: Издательство стандартов, 1985. — 8 с.

⁸ ГОСТ Р 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. — М.: Стандартинформ, 2013. — 12 с.

⁹ ГОСТ 31940-2012. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. — М.: Стандартинформ, 2013. — 16 с.

¹⁰ ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Количественный химический анализ вод. — М., 2011. — 22 с.

¹¹ ГОСТ 33045-2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. — М.: Стандартинформ, 2015. — 23 с.

¹² ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. — ВСЕГИНГЕО, 1986. — 9 с.

¹³ ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. — М.: Стандартинформ, 2011. — 8 с.

¹⁴ ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. — М., 2004. — 14 с.

¹⁵ ПНД Ф 14.1:2:3:4.154-99. Количественный химический анализ вод. — М., 2004. — 15 с.

Таблица 1

Гранулометрический и катионно-анионный состав отложений

Шифр разреза	Глубина от поверхности, м	Гранулометрический состав, размер частиц, мм				Катионно-анионный состав				
		Порода [11]	> 0,05	0,05–0,005	< 0,005	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺
			%	%	%	мг-экв/100 г	мг-экв/100 г	мг-экв/100 г	мг-экв/100 г	мг-экв/100 г
B3	0,25	Супесь	47,2	49,0	3,8	0,062	0,092	0,002	0,050	0,106
B3	0,45–0,55	Супесь	43,7	52,3	4,0	0,074	0,105	0,013	0,050	0,142
B3	0,65	Песок	95,9	4,1	0,00	0,111	0,098	0,010	0,075	0,145
B3	1,00	Супесь	54,7	43,0	2,30	0,173	0,114	0,032	0,200	0,119
B4	0,45	Песок	87,9	11,3	0,85	0,059	0,069	0,000	0,040	0,089
B4	0,70	Песок	75,3	21,7	3,05	0,114	0,056	0,012	0,080	0,102
B4	1,15	Песок	94,9	4,5	0,62	0,099	0,073	0,006	0,062	0,116
B4	1,45	Песок	88,6	10,4	1,01	0,218	0,079	0,005	0,242	0,060
B4	1,74	Супесь	57,0	38,5	4,42	0,114	0,086	0,005	0,072	0,134
B4	1,80	Песок	91,5	7,8	0,66	0,208	0,076	0,022	0,184	0,122
B5	0,35	Песок	90,1	7,7	2,19	0,104	0,059	0,011	0,056	0,118
B5	0,70	Супесь	62,0	34,3	3,67	0,282	0,103	0,018	0,352	0,051
B5	3,00	Песок	99,3	0,72	0,35	0,198	0,077	0,073	0,200	0,148
B5*	4,2–4,5	Песок	99,3	0,70	0,42	0,134	0,064	0,019	0,058	0,159
B5**	8,50	Песок	82,5	15,5	1,91	0,287	0,083	0,061	0,372	0,056

Примечание.

* — осадок породы, оставшейся при фильтрации образца льда из ледогрунтовой части жилы;

** — образец современных осадков термоабразионной ниши, омываемой рекой Гыдой.

Таблица 2

Химический состав водорастворимых соединений отложений

Шифр разреза	Глубина от поверхности, м	pH	Минерализация, мг/кг	Гумус, мг/кг	Нитраты, ммоль-экв/100 г	Fe ⁺² , Fe ⁺³ , мг/кг	ППП, %
B3	0,25	6,38	75	53	не обн.	4,4	3,1
B3	0,45–0,55	6,20	92	31	не обн.	3,6	1,5
B3	0,65	6,08	105	41	не обн.	4,5	0,3
B3	1,00	6,18	162	41	0,027	8,3	—
B4	0,45	5,91	62	107	0,002	4,9	—
B4	0,70	6,22	89	56	0,002	2,9	—
B4	1,15	6,10	85	56	0,022	4,0	—
B4	1,45	6,85	154	81	0,138	16	—
B4	1,74	6,32	100	167	0,007	7,6	—
B4	1,80	6,86	152	132	0,099	47	—
B5	0,35	6,05	73	46	0,002	2,3	0,9
B5	0,70	7,41	209	198	0,014	26	4,3
B5	3,00	6,48	171	41	0,073	6,6	0,4
B5	4,2–4,5	6,54	88	41	0,057	5,5	0,7
B5	8,50	7,30	228	200	0,114	133	1,0

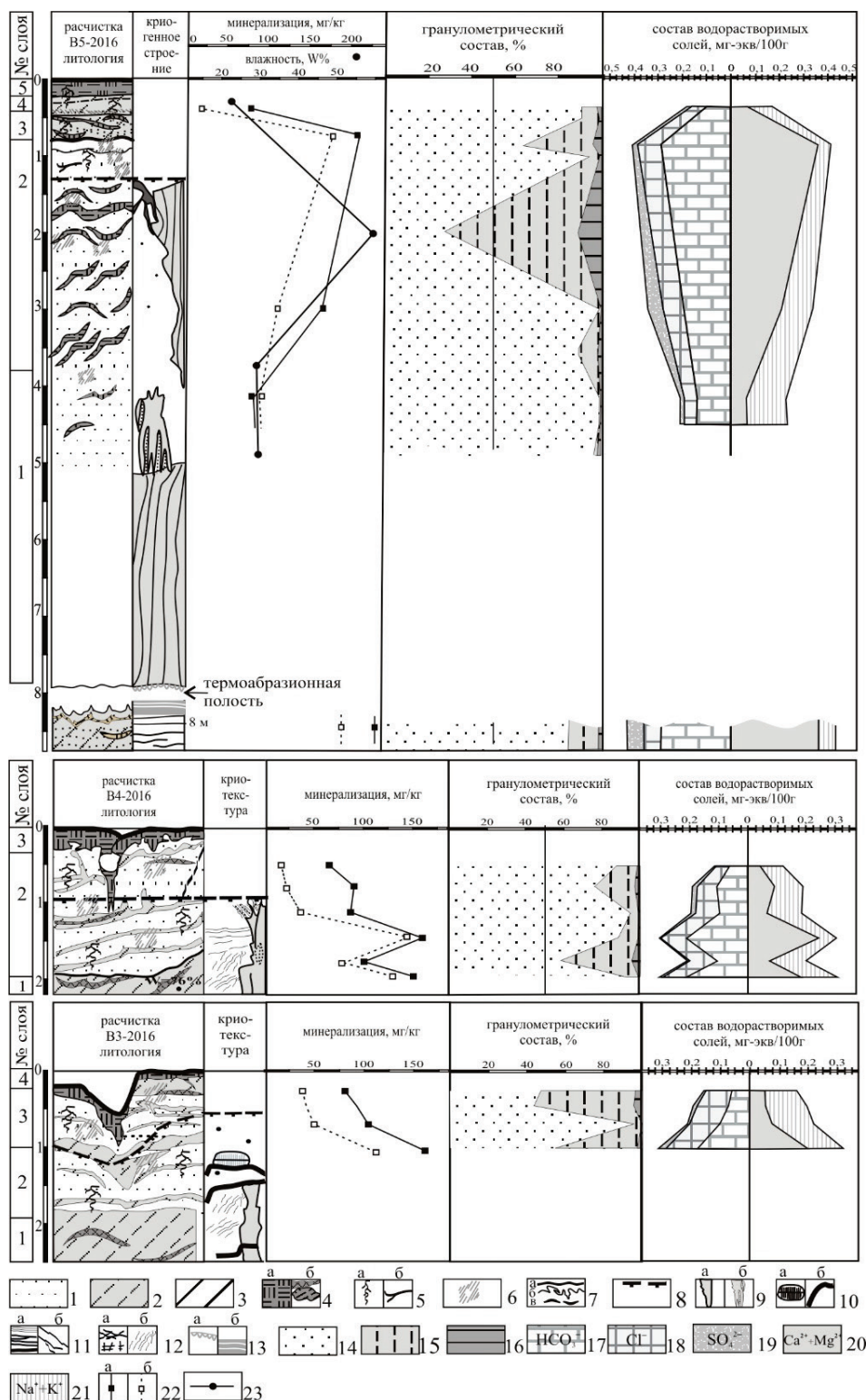


Рис. 2. Криолитологические разрезы отложений II-й озерно-аллювиальной террасы в районе с. Гыда

В рисунке 2 введены следующие обозначения: 1 — пески; 2 — супеси; 3 — суглинки; 4 — торф автохтонный (а), намытый растительный детрит (б); 5 — нитевидные корешки трав (а), автохтонные растительные остатки (б); 6 — соединения железа; 7 — литологические границы, слоистость (а), криотурбированная слоистость (б), слоистость перекрестная волнистая (в); 8 — верхняя граница многолетнемерзлых пород; 9 — чистый вертикально-полосчатый лед ПЖЛ (а), ледогрунт ПЖЛ (б); 10 — лед термокарстово-полостной (а), трещинный (б); 11–13 — криотекстуры: 11 — шлировые, слоистые, линзовидные (а), линзовидно-ломанные наклонные (б), 12 — сетчатые (а), пloyчатые вертикальные, наклонные (б), 13 — сублимационный лед (а), лед термоабразионной ниши (б); 14–16 — гранулометрические фракции: 14 — песков (0,25–0,05 мм), 15 — пыли (0,05–0,005 мм), 16 — глины (> 0,005 мм); 17–21 — состав водорастворимых солей: 17 — гидрокарбонат, 18 — хлорид, 19 — сульфат, 20 — кальций + магний, 21 — натрий + калий; 22 — минерализация: расчетная (а), по электропроводности (б); 23 — влажность.

Слой 3. Переслаивание супеси темно-серой заторфванной (3–5 см), прослоев песков серых и светло-серых (1–1,5 см) и линз автохтонного торфа. Состав водной вытяжки супеси — гидрокарбонатно-хлоридный, кальциево-натриевый. Слоистость мелких песков мелковолнистая частая наклонная, плавно изогнута между двумя канавами. Состав водной вытяжки песка — гидрокарбонатно-хлоридный, кальциево-натриевый.

Слой 4. Торф слоистый и почвенно-растительный слой. Нижняя граница торфа в пределах полигона осложнена наклонными прожилками и внедрениями из нижележащего слоя — криотурбациями. Мощность торфа меняется от 0,2 до 1,0 м в пределах хасырей на водораздельной поверхности (рис. 3). Торф соответствует постепенному зарастанию мелкого водоема, его осушению и, вероятно, похолоданию [10].

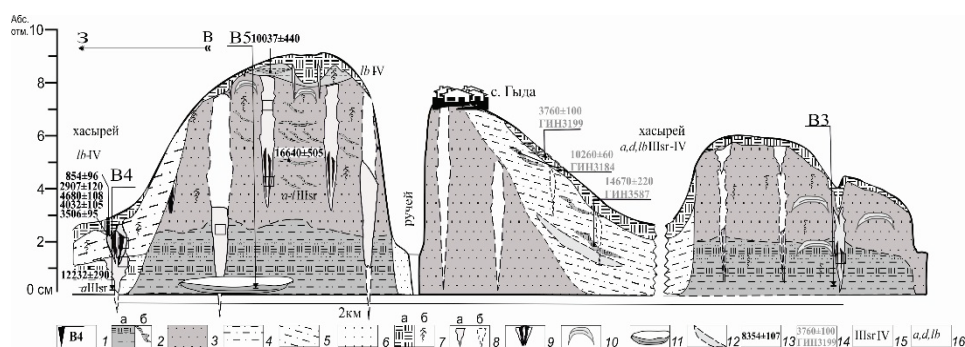


Рис. 3. Разрез в пределах геоморфологических уровней II-й озерно-аллювиальной террасы: 1 — расчистки; 2 — заторфованные супеси (а), линзы, прослои намытых растительных остатков близкого перемещения и переотложения (б); 3 — пески мелкие слоистые; 4 — супеси с прослоями песков и суглинков, со слоистостью водной ряби из растительных остатков; 5 — пески, супеси с наклонной слоистостью; 6 — пески прирусловых отмелей, пляжей; 7 — торф автохтонный (а), нитевидные корешки трав insitu (б); 8 — ПЖЛ вскрытый (а), предполагаемый (б); 9 — ледогрунтовые части ПЖЛ; 10 — трещинный лед; 11 — лед термоабразионной ниши; 12 — лед пластовый линзовидный (по данным Ю. К. Васильчука [8]); 13 — радиоуглеродные даты растительных остатков (по данным авторов); 14 — радиоуглеродные даты растительных остатков (по данным Ю. К. Васильчука [8]); 15 — возраст отложений: сартанский, голоценовый; 16 — генезис отложений: аллювиальный (а), делювиальный (д), озерный (л), болотный и биогенный (б)

Ледяные и ледогрунтовые жилы залегают в слоях 1, 2; в торфе слоя 4 — элементарная жилка (см. рис. 3). Видимая часть крупной ледяной жилы внизу

обнажения имеет ширину более 2 м, вертикальный размер более 4 м и уходит под урез реки Гыды. Ледогрунтовые жилы (расч. В5 и В3), более узкие — шириной 1,0–1,5 м, вертикальным размером более 4,5 м, залегают в отложениях слоев 1, 2 и заканчиваются на разной глубине. Жилы и мерзлые отложения в верхней части пересечены трещинами отседания с новообразованным льдом, в основании — включают лед термоабразионной ниши. Из свежих расплавов монолитов льда перечисленных разновидностей определен гидрохимический состав (табл. 3, 4).

Таблица 3

Катионно-анионный состав расплава льда

Шифр разреза	Глубина от поверхности, м	Описание	Среда	Мутность	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ , K ⁺
			ед. рН	мг/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л
В3	2,0	Лед трещин отседания	6,04	26,1	0,51	0,07	0,09	0,11	0,12	0,45
В3	3,0	Ледогрунт	6,03	100	1,53	0,23	0,43	0,60	0,66	0,94
В4	1,9	«Чистый» лед	5,63	25,6	0,22	0,11	0,22	0,14	0,22	0,18
В5	1,5	Лед трещин отседания	7,05	3,23	0,50	0,10	0,03	0,21	0,20	0,21
В5	2,5	«Чистый» лед	7,32	4,44	0,57	0,16	0,15	0,29	0,26	0,34
В5	4,2–4,5	Ледогрунт	6,92	43,3	0,83	0,28	0,24	0,42	0,76	0,19
В5	7,0	«Чистый» лед	7,00	11,4	0,84	0,14	0,03	0,35	0,33	0,33
В5	8,0	Лед термоабразионной ниши	6,49	27,4	1,53	0,34	0,16	0,45	1,00	0,59

Таблица 4

Химический состав водорастворимых соединений расплава льда

Шифр разреза	Глубина от поверхности, м	Описание	Минерализация	Гумус	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe ⁺² и Fe ⁺³
			мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
В3	2,0	Лед трещин отседания	36,6	16,9	не обн.	0,17	0,19	12,5
В3	3,0	Ледогрунт	117,2	37,2	не обн.	0,23	1,29	3,68
В4	1,9	«Чистый» лед	26,5	22,3	не обн.	не обн.	0,39	4,86
В5	1,5–1,6	Лед трещин отседания	30,9	19,8	1,50	0,01	0,13	0,28
В5	2,5	«Чистый» лед	46,7	11,3	0,20	0,01	не обн.	0,79
В5	4,2–4,5	Ледогрунт	66,3	28,4	0,88	0,05	0,21	1,73
В5	7,0	«Чистый» лед	50,3	13,1	1,33	0,01	0,11	0,28
В5	8,0	Лед термоабразионной ниши	108	48,2	не обн.	не обн.	1,32	6,46

Чистый лед жил расчистки В5 (с гл. 2,5; 6,0–7,0 м) имеет вертикально-полосчатую текстуру, образованную цепочками пузырьков воздуха, линзами песка, супеси толщиной до 0,5 мм. В составе льда определены ионы гидрокарбоната, натрия, магния, кальция; мутность — 4–11 мг/л; минерализация — 47–50 мг/л, содержание гумуса — 11–13 мг/л и железа — 0,3–0,8 мг/л.

Ледогрунтовые части жил (см. рис. 3) из расчисток В3 (гл. 3,0 м) и В5 (гл. 4,2–4,5 м) характеризуются чередованием вертикально-волнистых прожилков льда, супеси, песка толщиной 0,5–20 мм. Породы имеют субвертикально-

плотчатую, массивную, тонкую вертикально-волнистую, порфировидную, вертикально-шлировую криогенную текстуру [11]. Состав расплава ледогрунта — гидрокарбонатный, кальциево-магниево-натриевый; и хлоридно-гидрокарбонатный, кальциево-магний соответственно; мутность — 43–100 мг/л; минерализация — 66–117 мг/л, содержание гумуса — 28–37 мг/л и железа — 1,7–3,7 мг/л.

Лед трещин отседания из расч. В5 (гл. 1,5 м) и В3 (гл. 2,0 м) залегает в виде наклонных и вертикальных прожилков, прозрачный, местами ожелезнен на контакте с породой, имеет швы смыкания и вытянутые пузырьки воздуха. Состав льда — гидрокарбонатный, магниево-кальциево-натриевый; и гидрокарбонатный, натриевый соответственно; минерализация 31–37 мг/л, мутность 3–26 мг/л, содержание железа 0,3–12,5 мг/л и гумуса — 17–20 мг/л.

Лед в термоабразионной нише останца террасы (расч. В5, гл. 7,5–8 м) залегает в виде горизонтального слоя с линзовидными волнистыми прослоями супеси и суглинка (волновой рябью пляжа). Состав льда — гидрокарбонатный, натриево-магний; минерализация — 108 мг/л; мутность — 27 мг/л; содержание железа — 6,5 мг/л и гумуса — 48 мг/л.

Строение и геохимический состав отложений и подземного льда хасырея

Расчистка В4 находится в пределах хасырея в береговом уступе, высотой 3,0 м. Хасырей, диаметром до 0,5 км, с полигональным рельефом и бугром пучения, представляет нижнюю ступень озерно-термокарстовых понижений, на востоке обрамлен останцом террасы. Разрез В4, расположенный под межполигональной канавой, заполнен просевшим торфом, снизу вверх вскрыл следующие слои (см. рис. 3).

Слой 1. Серые пески с прослоями заторфованной серой супеси с сизыми пятнами по разложенным растительным остаткам и нитевидным корешкам. Слоистость мелковолнистая параллельная тонкая, осложнена внедрениями суглинистого материала вверх и изогнута вверх вдоль жилы льда. Криотекстура массивная. Видимая мощность — 0,6 м.

Слой 2. Светло-желтые и серые пески с нитевидными корешками, с прослоями серой супеси и линзами растительного детрита. Слоистость плавная волнистая, параллельная: слои толщиной 1–10 см, осложнены внедрениями супесчаного материала вверх на 0,3–0,6 м. Отложения неравномерно окрашены гидроокислами железа в виде пятен и потеков, пересечены трещинами отседания. Криотекстура массивная, вблизи ледяной жилы частая субвертикальная микролинзовидная (плотчатая). Мощность — 1,5–1,7 м. Состав водорастворимых соединений в песках — хлоридно-гидрокарбонатный, натриево-кальциевый; в супесях — хлоридно-гидрокарбонатный, кальциево-натриевый.

Слой 3. Торф слоистый и псевдоморфоза, заполненная торфом, над ледогрунтовой жилой. Мощность торфа меняется от 0,2 до 0,9 м. Нижняя часть торфа имеет наклонную, перемятую криотурбированную слоистость, линзы и невыдержанные прослои супесей. Верхняя часть торфа горизонтально-слоистая с присыпками песка.

В слоях 1, 2 залегает клиновидная ледогрунтовая жила с вертикальным размером более 2,5 м. Внизу жилы преобладает «чистый» лед с элементарными жилками, вертикальной слоистостью из пузырьков воздуха, пленок мути и включений растительного детрита;верху жилы — ледогрунт, вертикальные и вертикально-волнистые прожилки песка, супеси с вертикальными шлирами, линзами льда. «Чистый» лед (гл. 1,9 м) имеет гидрокарбонатно-сульфатный, кальциево-натриево-магний состав; минерализация — 27 мг/л, мутность — 26 мг/л, содержание железа — 4,9 мг/л и гумуса — 22 мг/л.

Обсуждение результатов

Отложения II-й террасы по седиментационной слоистости, гранулометрическому составу, низкой минерализации (75–209 мг/кг), содержанию железа

(4–26 мг/кг), гумуса (31–198 мг/кг), нитратов (до 0,073 ммоль-экв/100 г) и сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатному, натриево-кальциевому (слой 2) составу водорастворимых соединений отнесены к осадкам пресных текучих вод. Возраст отложений по автохтонной растительности с глубины 3,7 м — $16\,640 \pm 505$ лет назад (ИМКЭС-14С1256). Большая часть террасы и жильные льды сформированы в сартанском периоде позднего неоплейстоцена.

Отложения верхней части террасы (расч. В5 с гл. 0,35 м) по слоистости, намытым растительным остаткам, низкой минерализации (73 мг/кг), хлоридно-гидрокарбонатному, кальциево-натриевому составу, содержанию железа (2,3 мг/кг), гумуса (46 мг/кг), нитратов (0,002 ммоль-экв/100 г) отнесены к осадкам мелководного озера. Возраст растительных остатков с гл. 0,7–0,75 м — $10\,037 \pm 440$ лет назад (ИМКЭС-14С1262) [10]. В период накопления озерных отложений (в раннем голоцене) на останцах террасы развивался термокарст, частично протаивали ПЖЛ и многолетнемерзлые сартанские отложения. Накопление покровного торфа и промерзание озерных осадков происходили в течение всего голоцена от $8\,354 \pm 107$ (ИМКЭС-14С1259) до $3\,527 \pm 95$ лет назад (ИМКЭС-14С1255).

Отложения хасырея по слоистости, гранулометрическому составу, низкой минерализации (62–154 мг/кг), хлоридно-гидрокарбонатному, кальциево-натриевому составу, содержанию железа (3–47 мг/кг), гумуса (56–167 мг/кг), нитратов (0,002–0,138 ммоль-экв/100 г) отнесены к аллювиальным осадкам прирусловых отмелей, регулярно затопливаемой поймы реки Гыды с меняющимся гидродинамическим режимом. Возраст растительных остатков с гл. 1,97–1,95 м $12\,232 \pm 290$ лет назад (ИМКЭС-14С1256) [10]. Слой торфа в отложениях хасырея соответствует завершению пойменного режима без длительного подтопления паводковыми водами [12] во второй половине голоцена от $4\,680 \pm 108$ (ИМКЭС-14С1093) до 854 ± 96 лет назад (ИМКЭС-14С1243).

«Чистый» лед жил останцов террасы ультрапресный (47–50 мг/л), имеет гидрокарбонатный, магниевый-кальциево-натриевый или магниевый-натриево-кальциевый состав, незначительное содержание гумуса (11–13 мг/л), железа (0,3–0,8 мг/л) — близкий по составу поверхностным водами ПЖЛ в долине реки Юрибей на полуострове Гыдан [4]. Такой состав характерен для сингенетических ПЖЛ [10], сформированных при морозобойном растрескивании поверхности, в основном за счет атмосферных осадков.

Ледогрунтовые части жил останцов террасы различаются по составу. Ледогрунт жилы в расчистке В3 — гидрокарбонатный, кальциево-магниевый-натриевый, пресный (117 мг/л), содержание гумуса — 37 мг/л, нитритов (0,23 мг/л), нитратов (1,29 мг/л), железа (3,68 мг/л). Ледогрунт жилы в расчистке В5 — хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый; ультрапресный (66 мг/л), содержание гумуса — 28 мг/л, аммиака (0,88 мг/л), нитритов (0,05 мг/л), нитратов (0,21 мг/л), железа (1,73 мг/л). Состав катионов и анионов ледогрунта характерен ПЖЛ [3] и близок к составу вмещающих сингенетически промерзавших отложений. Повышенная минерализация, мутность, содержание гумуса, железа в ледогрунте, по сравнению с «чистым» льдом жил, вероятно, связаны с водами, обогащенными минеральными частицами и водорастворимыми соединениями.

Химический состав жилы в хасырее ультрапресный (27 мг/л), имеет гидрокарбонатно-сульфатный, кальциево-натриево-магниевый состав; содержание железа — 4,9 мг/л; гумуса (22 мг/л). Отличие преобладающих ионов обусловлено формированием жилы в условиях регулярного подтопления рекой Гыдой. Химический состав сформирован в основном за счет атмосферных осадков и в меньшей степени водами реки Гыды.

Химический состав расплава ультрапресного (31–37 мг/л) льда трещин отседания различается на разных останцах террасы. В расчистке В5 такой лед имеет гид-

рокарбонатный, магниевый-кальциевый-натриевый состав, низкое содержание железа (0,28 мг/л), нитратов (0,13 мг/л) и нитритов (0,01 мг/л). Такой состав идентичен составу «чистого» льда ПЖЛ. Это может быть связано с тем, что вода, формировавшая ледяные жилы и «современный» лед трещины, одного происхождения, в основном за счет атмосферных осадков. Лед трещин отседания в расчистке ВЗ имеет гидрокарбонатный, натриевый состав, повышенную мутность (26 мг/л), высокое содержание железа (12,5 мг/л) и нитритов (0,17 мг/л). Такой состав сформирован атмосферными осадками с участием поверхностного и надмерзлотного стока, обогащенного водорастворимыми соединениями из дренируемых склоновых отложений (см. рис. 3).

Лед термоабразионной ниши пресный (108 мг/л), в отличие от «чистых» льдов ПЖЛ имеет гидрокарбонатный, натриево-магниевый состав, высокое содержание гумуса (48 мг/л), нитратов (1,32 мг/л), железа (6,5 мг/л), повышенную мутность (27 мг/л), что характерно для вод южной части Гыданской губы [13]. Увеличение концентрации иона магния соответствует вовлечению данного иона в ледовую фазу [2].

Выводы

Изученные многолетнемерзлые отложения хасырея и останцов II-й террасы приустьевых участков долины реки Гыды по химическому составу водной вытяжки относятся к незасоленным континентальным образованиям, опресненным за счет атмосферных осадков и поверхностных вод.

Отложения нижней части II-й террасы отнесены к аллювию — осадкам пресных текучих вод, сингенетически промерзавших с формированием ПЖЛ в сартанском периоде позднего неоплейстоцена. Отложения слоя 3 в разрезе террасы отнесены к осадкам мелководного озера. В период накопления озерных отложений (в раннем голоцене) на останцах террасы развивался термокаст, частично протаявали ПЖЛ и многолетнемерзлые сартанские отложения. Отложения в хасырее отнесены к аллювиальным осадкам прирусловых отмелей с меняющимся гидродинамическим режимом и регулярно затапливаемой поймы реки Гыды.

Изученные подземные льды ультрапресные и пресные, участие засоленных вод не выявлено. В составе сартанских ПЖЛ останцов террасы выделены «чистый» лед, сформированный за счет атмосферных осадков, и ледогрунтовые части жил — с участием поверхностных вод, обогащенных минеральными частицами и водорастворимыми солями. В формировании голоценовых жил хасырея участвовали атмосферные осадки и воды реки Гыды. Льды трещин отседания формировались как за счет атмосферных осадков, так и за счет надмерзлотного стока, обогащенных водорастворимыми соединениями. Лед термоабразионной ниши сформирован водами южной части Гыданской губы.

Натурные исследования выполнены в рамках госзадания проект IX.133.1.2. Аналитические исследования выполнены при поддержке РФФИ (№ 18-35-00031) и РФФИ (№18-05-00376).

Библиографический список

1. Анисимова Н. П. Криогидрохимические особенности мерзлой зоны. — Новосибирск: Наука, 1981. — 150 с.
2. Фотиев С. М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты) / Сибирское отделение Российской академии наук, Институт криосферы Земли. — Новосибирск: Гео, 2009. — 279 с.
3. Рогов В. В. Основы криогенеза (учебно-методическое пособие) / Сибирское отделение Российской академии наук, Тюменский научный центр, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. — Новосибирск: Гео, 2009. — 203 с.
4. Крицук Л. Н. Подземные льды Западной Сибири. — М.: Научный мир, 2010. — 352 с.
5. Буданцева Н. А., Васильчук Ю. К. Геохимический состав голоценовых повторно-жильных льдов Южного и Центрального Ямала // Арктика и Антарктика. — 2017. — № 1. — С. 1–22.

6. Полигонально-жильные льды на острове Сибирякова (Карское море) / И. Д. Стрелецкая [и др.] // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2012. – № 3. – С. 57–63.
7. Строение и генезис подземных льдов в верхнеоолейстоцен-голоценовых отложениях мыса Марре-Сале (Западный Ямал) / Е. А. Слагода [и др.] // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16, № 2. – С. 9–23.
8. Васильчук Ю. К., Котляков В. М. Основы изотопной геоэкологии и гляциологии: учеб. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 616 с.
9. Васильчук Ю. К. Гомогенные и гетерогенные пластовые ледяные залежи в многолетнемерзлых породах // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV, № 1. – С. 40–51.
10. Особенности строения и формирования ледогрунтовых жил озерно-аллювиальных террас на севере Гыдана в позднем оолейстоцене-голоцене / Я. В. Тихонравова [и др.] // Лед и Снег. – 2018.
11. Охотин В. В. Грунтоведение. – СПб.: Центр генетического грунтоведения, 2008. – 256 с.
12. Reconstruction of the dynamics of the natural environment by the method of definition vegetations residues in peat and the deposits of the khasyrey on terraces of Gyda river / A. Kuznetsova [et. al.] // Pushchino Permafrost Conference «Earth's Cryosphere: Past, Present and Future» (5–8 June, 2017). Book of Abstracts. – P. 155–156.
13. Химический состав вод и фитопланктон Гыданской губы (Карское море) / И. В. Томберг [и др.] // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV, № 4. – С. 103–106.

Сведения об авторах

Бутаков Владислав Игоревич, аспирант, Институт криосферы Земли Тюменского научно-го центра СО РАН, инженер I категории отдела криогенных ресурсов, НИПИ «Нефтегазпроект», Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: vladbutakov@yahoo.com

Тихонравова Яна Витальевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории комплексных методов изучения криогенных геосистем, Институт криосферы Земли Тюменского научно-го центра СО РАН, г. Тюмень, e-mail: tikh-jana@yandex.ru

Слагода Елена Адольфовна, д. г.-м. н., главный научный сотрудник лаборатории комплексных методов изучения криогенных геосистем, Институт криосферы Земли Тюменского научно-го центра СО РАН, Тюменский государственный университет, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: eslagoda@ikz.ru

Information about the authors

Butakov V. I., Postgraduate, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Engineer of the Ist Category, Cryogenic Resources Department, Scientific Research and Design Institute «Neftegazproekt», Industrial University of Tyumen, e-mail: vladbutakov@yahoo.com

Tikhonravova Ya. V., Postgraduate, Junior Researcher of the Laboratory of Complex Methods of Cryogenic Geosystems Studying, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, e-mail: tikh-jana@yandex.ru

Slagoda E. A., Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Researcher of the Laboratory of Complex Methods of Cryogenic Geosystems Studying, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen State University, Industrial University of Tyumen, e-mail: eslagoda@ikz.ru