

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова
Сибирского отделения РАН

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КРИОЛИТОЗОНЕ

**МАТЕРИАЛЫ
ДОКЛАДОВ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
посвященной 60-летию образования
Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН**

г. Якутск (Россия), 28–30 сентября 2020 г.

Ответственные редакторы:
доктор геолого-минералогических наук М. Н. Железняк;
доктор геолого-минералогических наук В. В. Шепелёв;
доктор технических наук Р. В. Чжан

Якутск
Издательство ФГБУН Институт мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН
2020

УДК 551.34+624.139(063)

ББК 26.36.Я431

У79

Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне :
У79 материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск (Россия), 28–30 сентября 2020 г./ ФГБУН Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН; отв. ред-ры: д.г.-м.н. М. Н. Железняк; д.г.-м.н. В. В. Шепелёв; д.т.н. Р. В. Чжан. – Якутск: Издательство ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2019. – 462 с.

ISBN 978-5-93254-195-1

Сборник включает материалы докладов, представленных на Всероссийской конференции с международным участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвященной 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН. На конференции рассмотрены проблемы зональных и региональных закономерностей развития криолитозоны, прогноз развития криогенных процессов, новые конструкции фундаментов зданий и технологии строительства инженерных сооружений на многолетнемерзлых грунтах, новые методы геокриологических исследований, вопросы популяризации научных знаний и подготовки кадров в области геокриологии (мерзлотоведения).

УДК 551.34+624.139(063)

ББК 26.36.Я431

ISBN 978-5-93254-195-1

© ФГБУН Ин-т мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН, 2020

ПЛАСТОВЫЕ ЛЬДЫ В РАЙОНЕ ПОС. АМДЕРМА НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЮГОРСКОГО ПОЛУОСТРОВА: НОВЫЕ ДАННЫЕ

Н. Г. Белова*****, Ю. А. Дворников*, А. В. Хомутов****,
Н. Б. Нестерова***, Е. А. Бабкина*

* Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия

** Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

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

MASSIVE ICE BEDS AT AMDERMA SETTLEMENT, YUGORSKY PENINSULA COASTAL ZONE: NEW DATA

N. G. Belova*****, Yu. A. Dvornikov*, A. V. Khomutov****,
N. B. Nesterova***, E. A. Babkina*

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

** Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*** Tyumen State University, Tyumen, Russia

Аннотация. Пластовые льды и перекрывающие их отложения, вскрывшиеся в термоцирках в береговой зоне Югорского п-ова в районе пос. Амдерма, исследованы в сентябре 2019 года. Слоистый пластовый лёд мощностью более 4,5 м залегает согласно перекрывающим суглинкам с обломками раковин моллюсков, характеризуется значениями $\delta^{18}\text{O}$ в среднем 20,8‰ (от -22,2 до -18,3‰) и отсутствием деформаций. Более вероятным представляется внутригрунтовое формирование пластовых льдов ключевого участка.

Abstract. Massive ice beds and host sediments were investigated in thermocirques in the coastal zone of the Yugorsky Peninsula near the Amderma settlement in September 2019. Laminated massive ice bed more than 4.5 m thick is conformably overlaid by loams with shell fragments; it is characterized by $\delta^{18}\text{O}$ values of -20.8 ‰ on average (from -22.2 to -18.3 ‰) and by the absence of deformations. Massive ice of the key area is more likely of intrasedimental nature.

Пластовые льды на северном побережье Югорского полуострова известны с 1980-х годов. Объектом исследования был прежде всего разрез отложения в урочище Шпиндлер в 40 км к востоку от пос. Амдерма [1, 2]. Ледяная залежь мощностью 10-15 м интерпретировалась исследователями либо как погребённый лёд среднеледникового покровного ледника с шельфа Карского моря [3], либо как изначально внутригрунтовое образование [4, 5]. Подтверждение ледникового генезиса пластовых льдов означало бы возможность длительного сохранения крупных массивов льда в верхней части разреза многолетнемерзлых пород, несмотря на последующие тёплые периоды (например, MIS5e). Если те же льды отнести к внутригрунтовым, то это может кардинально изменить историю развития рассматриваемой территории, т.к. часто именно факт наличия погребённых ледниковых льдов лежит в основе реконструкции границ древних оледенений на конкретных ключевых участках. Реконструкции истории криолитогенеза используются также при моделировании

современного состояния многолетнемёрзлых пород и при картографировании подземных льдов [6, 7].

В районе урочища Шпиндлер описано два яруса пластовых льдов. Лёд верхнего яруса более мощный (10 м по вертикали), и именно его исследователи относили к погребённому ледниковому льду [3]. Пластовая ледяная залежь залегает на высотах 23–40 м и перекрыта суглинисто-глинистой толщей мощностью до 8 м с обломками и целыми раковинами моллюсков, с включениями деформированных песков. Лёд подстилается ритмично построенной толщей песчано-суглинистых дельтовых отложений, под которыми залегает нижний пласт льда (на высотах 7–12 м), подстилаемый, в свою очередь, морскими суглинками и глинами [4].

Пластовые льды были также исследованы в разрезах к западу от лагуны Первая Песчаная, в 33 км западнее урочища Шпиндлер [8, 9]. Один из открытых вопросов – с каким ярусом льдов урочища Шпиндлер соотносятся пластовые льды района лагуны Первой Песчаной?

В сентябре 2019 года в рамках экспедиции Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН были обследованы несколько термоцирков в 4–5 км к востоку и юго-востоку от пос. Амдерма в районе лагуны Первой Песчаной. Наиболее детально исследован термоцирк «Внутренний» (69.746° с.ш., 61.788° в.д., [10, 11]). Термоцирк сформировался в вершине эрозионной формы на пологом склоне, спускающемся на юго-восток к лагуне Первой Песчаной. Пластовый лёд (рис. 1) вскрывается в южном борту термоэрозионной формы на протяжении 190 м, истинные горизонтальные размеры пласта, вероятно, больше. Высота поверхности исследованной стенки понижается с северо-запада на юго-восток с 48 до 39 м над уровнем моря (здесь и далее по материалам ArcticDEM [12], с поправками, если не указано иное).



*Рис. 1. Пластовый лёд в 5 км к востоку от пос. Амдерма.
Под 4,5 м суглинков вскрыта залежь видимой мощностью также 4,5 м*

Пластовый лёд перекрыт толщей мёрзлых суглинистых отложений. Суглинки тёмно-серые, плотные, неяснослоистые за счёт чередования мелкоо-

скольчатых и крупнооскольчатых суглинков. Ледяные шлиры не образуют регулярную сетку, часто ориентированы вертикально. Встречаются гнёзда чистого прозрачного пузырчатого льда размером до 8 см с удлинёнными воздушными пузырьками. Суммарная влажность перекрывающих суглинков w_{tot} составляет 30-34 % (три определения). В суглинках встречены осколки раковин моллюсков (к примеру, в северном борту термоцирка на высоте 0,9 м над кровлей пласта залегает *in situ* единичная ломкая раковина), отдельные мелкие валуны. В днище термоцирка многочисленны валуны размером более 0,5 м, вероятно, изначально залегавшие в перекрывающих лёд суглинках [11].

Верхний контакт залежи согласный, слоистость во льду повторяет форму кровли пласта, кроме нижней юго-восточной части термоцирка, где, вероятно, пластовая залежь протаивала сверху. На контакте и в перекрывающих суглинках встречены валуны до 0,7 м в поперечнике, местами они залегают субгоризонтально как на контакте, так и в перекрывающих валунных суглинках. Пластовый лёд вскрыт в интервале высот от 38 до 43 м над уровнем моря.

Лёд залежи слоистый за счёт изменения содержания грунтовых и воздушных включений во льду. Верхние 1,5 м залежи значительно более насыщены грунтовыми включениями, представленными частицами пылевой, песчаной и галечной размерности. Суммарная влажность w_{tot} в верхних 1,5 м составляет в среднем 600% (6 определений). Прослой чистого льда тонкие, мощностью преимущественно менее 1 см. Лёд мелко- и среднекристаллический, в тонких прослоях кристаллы меньше, в более крупных размер кристаллов около 1 см. Во льду встречены отдельные осколки раковин моллюсков, в мёрзлой стенке они зафиксированы в 0,4 м ниже кровли в южном борту термоцирка и в 1,5 м ниже кровли в северном борту. На поверхности пластовой залежи обилен ракушечный детрит, вытаявший из перекрывающих отложений или из самого пласта. В северном борту термоцирка встречена крупная галька около 0,15 м в поперечнике, залегавшая в мёрзлой стенке. Слоистость залежи не изменяется на контакте с галькой. Нижняя часть залежи на глубине 2–4,5 м от кровли сложена переслаиванием чистого прозрачного льда, чистого пузырчатого льда, мутного за счёт грунтовых включений льда, и слоистого льда. Суммарная влажность w_{tot} составляет 4450 % (среднее по 4 определениям). Размерность грунтовых включений во льду – от глинистой до гравийно-галечной. Редко встречаются мелкие валуны [11].

Лёд пластовой залежи и текстурообразующие в перекрывающих отложениях льды резко отличаются друг от друга по содержанию стабильных изотопов кислорода и водорода. Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ во льду перекрывающих суглинков составило -7,8‰ (от -8,7 до -7,2‰, по 9 образцам), а в пластовой залежи -20,8‰ (от -22,2 до -18,3‰, по 34 образцам) – что близко к значениям в пластовых льдах района п/ст Марре-Сале [13], в долине р. Еркута-Яха [14], на западном побережье Байдарацкой губы [15] и в других пластовых залежах на севере Западной Сибири.

Термоцирк «Дальний» (69.736° с.ш., 61.758° в.д.) с абсолютной высотой бровки до 49 м выработан в сильнольдистых слоистых отложениях видимой мощностью 8 м, перекрытых серыми суглинками. Термоцирк сформировался на северном берегу озера. Сильнольдистые отложения (w_{tot} порядка 100–200 %) здесь вскрываются в интервале высот 37–45 м над уровнем моря на протяжении 250 м с запада на восток, как такового пластового льда здесь не встречено.

В исследованных ранее термоцирках, расположенных в 1 км от термоцирка «Внутреннего» на берегу Карского моря, пластовые залежи залежали на меньших глубинах – в интервале абс. высот 15–20 м, поднимаясь до 25 м над уровнем моря [9]. Высота бровки термоцирка здесь составляла 30 м, льды перекрывались дельтовыми ритмитами, а подстилались морскими суглинками и глинами или залежали непосредственно на коренных породах. В урочище Шпиндлер нижний пласт льда также был перекрыт толщей ритмитов, однако подстился гравийными песками, уже под которыми залежали морские глины. При корреляции исследованных разрезов следует учитывать, что в районе лагуны Первой Песчаной коренные породы выходят на дневную поверхность, тогда как в районе урочища Шпиндлер их мощность значительно больше. У лагуны Первой Песчаной высота кровли коренных пород изменчива в пространстве; высоты залегания пластовых льдов могут зависеть от глубины залегания водоупора (коренных пород).

Итак, в районе лагуны Первой Песчаной обнаружены пластовые льды, залегающие на высотах, близких к отметкам верхнего яруса льдов урочища Шпиндлер, и также перекрывающиеся серыми суглинками с обломками раковин моллюсков. Однако в исследованных крупных термоцирках на всём их протяжении не встречено деформаций во льду, песчаных отторженцев или иных признаков воздействия ледника. Более вероятным представляется внутригрунтовое формирование пластовых льдов.

Авторы благодарны М. О. Лейбман за обсуждение и консультации при подготовке полевых работ и обработке полученных материалов. Полевые работы 2019 года по исследованию термоденудации на Югорском полуострове выполнены в рамках проекта РФФИ 18-05-60222. Исследование разрезов с пластовыми льдами проводилось при поддержке гранта Президента РФ МК-398.2019.5.

Список литературы

1. Гольдфарб, Ю. И. Свидетельство возможного нахождения ископаемых льдов на шельфе северных морей / Ю. И. Гольдфарб, А.Б. Ежова // Проблемы четвертичной палеоэкологии и палеогеографии Северных морей. – Апатиты, 1987. – С. 25.
2. Гольдфарб, Ю. И. Ископаемые пластовые льды на п-ове Югорском / Ю. И. Гольдфарб, А. Б. Ежова // Вопросы развития и освоения мёрзлых толщ. – Якутск, 1990. – С. 22–31.
3. Ingólfsson Ó., Lokrantz H. Massive Ground Ice Body of Glacial Origin at Yugorski Peninsula, Arctic Russia // *Permafrost and Periglac. Process.*, 2003, 14, p. 199-215.
4. Leibman M.O. et al. Isotope geochemical characteristics of tabular ground ice at Yugorsky peninsula and reconstruction of conditions for its formation // *Материалы гляциологических исследований*. 2001, №90, с. 30-39.
5. Leibman M.O. et al. Tabular ground ice origin: cryolithological and isotope-geochemical study // *Proc. of the 8th Intern. Conf. (Zurich, 21–25 July, 2003)*. Lisse, Netherlands, Balkema Publ., vol. 1, p. 645-650.
6. Couture N., Pollard W.H. A Model for Quantifying Ground-Ice Volume, Yukon Coast, Western Arctic Canada: A Model for Quantifying Ground Ice Volume // *Permafrost and Periglacial Processes*, 2017, 28(3).
7. O'Neill H.B. et al. New ground ice maps for Canada using a paleogeographic modelling approach // *The Cryosphere*, 13, p. 753-773.

8. Лейбман, М.О. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова / М. О. Лейбман, А.И. Кизяков. – 2007. – 206 с.
9. Генезис деформаций в голоцен-четвертичных отложениях с пластовыми льдами на Югорском полуострове / Е. А. Слагода [и др.] // Криосфера Земли. – 2010. – Т. XIV, № 4. – С. 30–41.
10. Термоденудационные процессы на побережье Югорского полуострова / А. В. Хомутов [и др.] // Геология морей и океанов : материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – 2019. – Т. II. – С. 168–172.
11. Многолетнемёрзлые отложения с пластовыми льдами на побережье Югорского полуострова / Н. Г. Белова [и др.] // Арктика и Антарктика. – 2019. – № 4. – С. 74–83.
12. Porter C. et al. “ArcticDEM”, 2018, <https://doi.org/10.7910/DVN/ОННУКН>, Harvard Dataverse, V1, [Accessed May 01, 2020].
13. Подземные льды в четвертичных отложениях побережья Карского моря как отражение палеогеографических условий конца неоплейстоцена-голоцена / И. Д. Стрелецкая [и др.] // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 2012. – № 72. – С. 28–59.
14. Вариации $\delta^{18}\text{O}$, δD и содержание пыли и спор в автохтонной гетерогенной пластовой ледяной залежи на реке Еркутаяха на Южном Ямале / Ю. К. Васильчук и др. // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 438, № 3. – С. 400–405.
15. Белова, Н. Г. Погребённые и внутригрунтовые пластовые льды на западном побережье Байдарацкой губы Карского моря / Н. Г. Белова // Лед и снег. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 93–102.

ПРОГНОЗНАЯ КАРТА ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В КРИОЛИТОЗОНЕ РОССИИ

Н. М. Бердников*, Г. В. Малкова*, Д. С. Дроздов*****,
Ю. В. Коростелев*, А. Г. Гравис*, О. Е. Пономарева*****

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

** *Российский государственный геологоразведочный университет
(МГРИ-РГГРУ), г. Москва, Россия*

*** *Тюменский Государственный Университет, г. Тюмень, Россия*

PERMAFROST TEMPERATURE FORECAST MAP IN RUSSIAN CRYOLITHOZONE

N. M. Berdnikov*, G.V. Malkova*, D. S. Drozdov*****,
Yu.V. Korostelev*, A. G. Gravis*, O. E. Ponomareva*****

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

** *Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU),
Moscow, Russia*

*** *Tyumen State University, Tyumen, Russia*

Аннотация. В программном пакете ArcGis создана картографическая модель прогнозной температуры вечной мерзлоты на 2050 год на территории криолитозоны