



ОСТРОВ ГЕРШЕЛЯ (КАНАДСКАЯ АРКТИКА) – ПРОБЛЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ ПАЛЕОКРИОЛОГИИ

✉ *Кашдан А.И.¹, Шейнкман В.С.²*

¹ Политехнический институт Монреаля, Монреаль, Квебек, Канада

² Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

✉ *adamykashdan@gmail.com*

Происхождение арктических островов, сложенных льдистыми породами, остается предметом научных дискуссий. На примере острова Гершель рассматривается противостояние двух гипотез: мерзлотного (внутригрунтового) происхождения подземных льдов и их формирования из погребенных льдов древних ледниковых покровов. В тезисах критически анализируются аргументы в пользу ледникового генезиса острова, включая данные датировок и интерпретацию отложений как морены. На основе геоморфологических данных и анализа отложений побережья Туктоятук доказывается, что ледник был холодным, маломощным (150 м толщиной древний ледник в МИС4 и 50 м ледниковый шельф в МИС2) и не обладал значительной эрозионной способностью, что объясняет сохранность массивных подземных льдов.

Ключевые слова: *арктические острова, подземные льды, остров Гершель, Лаврентийский ледниковый щит, поздний плейстоцен, палеогляциология, гляциотектоника, холодный ледник, мерзлые породы, тилл, дегляциация, побережье Туктоятук*

Происхождение и формирование арктических островов, сложенных, в достаточной мере, замороженными осадочными породами, содержащими внутригрунтовые льды различного типа, привлекает внимание исследователей со времен появления два века тому назад рассказов о легендарной земле Санникова. Но если исчезновение подобных островов логично объясняется вытаяванием, под влиянием потепления климата, льдистой составляющей слагающих острова отложений, то находки в их пределах все еще существующих мощных подземных льдов, образующих крупные залежи, по-прежнему вызывает острые споры. При этом обозначаются две основные позиции исследователей – с базированием на внутригрунтовом, мерзлотном происхождении таких залежей льда, и на концепции погребения и длительного существования льдов бывших ледниковых покровов. Вопрос о происхождении острова Гершеля отражает отмеченную дискуссию. Рассмотрим ее основные моменты.

Ряд исследователей обосновывают ледниковое происхождение данного острова. Это небольшой, площадью несколько больше 100 км², массив суши – самая северная точка территории Юкон в Канаде на окраине моря Бофорт. Сторонники ледникового происхождения острова считают слагающие его поверхностные толщи осадочных пород морены, надвинутой ледником [*Rampton, 1982, 1988*] во время максимального распространения на побережье Юкона Лаврентийского ледникового щита. Данные о возрасте формирования этого образования до сих пор основаны на молодой радиоуглеродной дате 15 990 тыс. л. н. [*Fritz et al., 2012*], полученной из диамиктона, перекрывающего на острове массивные подземные льды, и такая интерпретация предполагает, что датированный растительный материал накопился до начала так называемой ледниково-тектонической деформации [*Wetterich et al., 2023*]. Перекрываемые диамиктоном массивные льды должны были тогда формироваться в интервале 32 220 – 25 830 тыс. л. н. Дополнительной информацией для определения времени максимального распространения предполагаемого Лаврентийского ледникового щита, который был бы способен сформировать ледниково-надвиговую гряду острова Гершеля, могут служить данные по черепу лошади [*Zazula et al., 2009*], предположительно собранному *in situ* и датированному в интервале от 20 170 – 19 550 тыс. л. н. [*Wetterich et al., 2023*].

Табл. 1. Стадии оледенения в Западном секторе Канадской Арктики: синтез данных из работ Rampton (1988), Dyke et al. (2002), Dalton et al. (2023) и Stoker et al. (2024) с комментариями авторов. * Примечание. Теория «надвигового» продвижения древнего холодного ледника авторами не поддерживается.

Стадиал / Оледенение	Хронологическая позиция	Приблизительный возраст (тыс. кал. л.н.)	Морская изотопная стадия (МИС)	Примечания / Региональный контекст
Ситиджийский стадиал - Sitidgi Stade	Поздний висконсинский период	~15 ka	МИС 2	Крупное продвижение Лаврентийского щита в желоб Маккензи и на п-ов Туктоятук в поздний ледниковый период.
Гершельский стадиал - Herschel Stade	Поздний висконсинский период	~17.5 ka	МИС 2, Последний ледниковый максимум (ПЛМ)	Соответствует фазе "надвигового" * продвижения Лаврентийского ледникового щита, которое привело к формированию острова Гершеля. Данная фаза коррелирует с самыми молодыми мега-ледниковыми линиями в заливе Амундсена. Возраст установлен по датировкам деформированного пластового льда и перекрывающего его диамктиона.
Токер-Пойнт (оледенение Бакленда) и стадия Франклин-Бэй - Toker Point (Buckland Glaciation), Franklin Bay	Ранний висконсинский период	~71-57 ka	МИС 4	Эти стадиалы представляют собой холодные фазы раннего висконсинского периода в регионе Аляски и прилегающих территорий Канады. Они характеризуются значительным наступлением ледников после относительно тёплого интерстадиала среднего висконсинского периода.
Довисконсинское оледенение например, Хаски-Крик, Олень, реки Мэйсон - Husky Creek, Reindeer, Mason River	Иллинойское оледенение и др.	>130 ka	МИС 6	Довисконсинское оледенение — это обобщающий термин для более древних ледниковых периодов, предшествовавших последнему (Висконсинскому) оледенению в Северной Америке. Примеры, такие как оледенение Хаски-Крик, реки Мэйсон и Олень оледенение на территории Аляски и прилегающих регионах, представляют собой отдельные, более ранние ледниковые эпизоды.

Отметим, что все большее число исследователей приходят к выводу, что максимальное распространение Лаврентийского ледникового щита в позднем плейстоцене достигло своей северо-западной позиции во время поздне-висконсинского оледенения 17 500 тыс. л. н. [Stoker et al., 2025], хотя есть также мнение, что максимального распространения ледник достиг во время раннее-висконсинского оледенения (см. Табл., Рис.). Считается, что о положении ледника в регионе могут свидетельствовать локализации термоденудационных цирков (оползней оттаивания), образовавшихся в результате таяния массивных подземных льдов [Kokelj et al., 2017].

Относительно кратковременное региональное наступление льда в позднем висконсине, примерно 22 – 15 тыс. л. н. (см. Табл. 1, рис. 1), за которым последовало отступление ледникового щита, начавшееся самое позднее около 14 тыс. л. н., было установлено для побережья Туктояктук, острова Банкс, плато Пил и острова Ричардс, а также гор Ричардсона и Маккензи. По данным [Murton et al., 2007], на побережье Туктояктук донные пески Киттигазюитской формации были перекрыты ледником, отложения которого датированы люминесцентным методом, и полученные датировки позволяет предположить, что оледенение произошло не ранее 22 тыс. л. н. и, возможно, вплоть до 16 тыс. л. н. Дегляциация побережья Туктояктук согласно радиоуглеродным датировкам органического материала из базальных озерных отложений и возрастам, полученным инфракрасно-стимулированной люминесценцией (IRSL) для песчаных жил началась 14 300 тыс. л. н. [Murton et al., 1997].

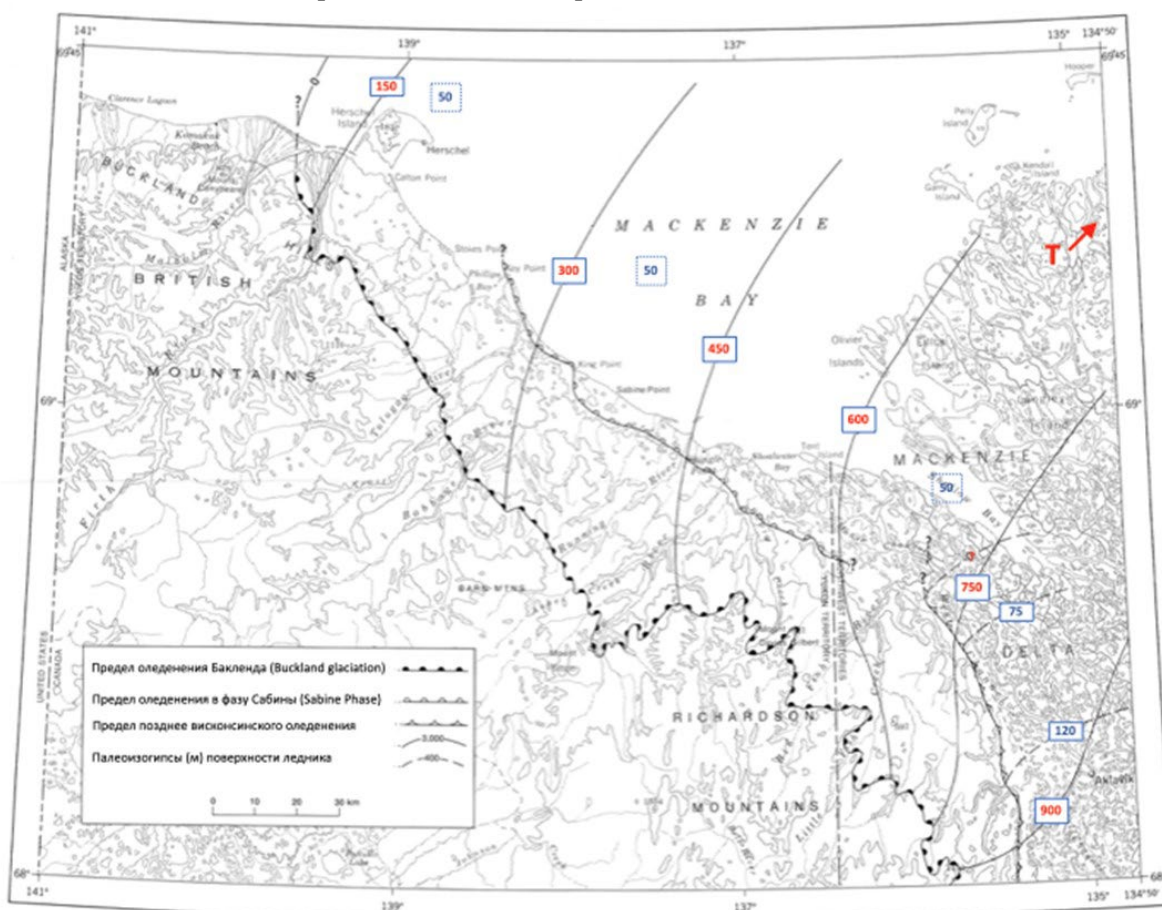


Рис. 1. Цифры в квадрате - смоделированные толщины (в метрах) древнего ледника в МИС4 (красный) и МИС2 (синий, пунктирный - ледниковый шельф) на основе работы Rampton [1988]. Т - побережье Туктояктук. Использовалась численная модель эволюции одномерного морского ледникового щита в приближении мелкого слоя (Shallow Shelf Approximation, SSA), реализованная на языке Julia и основанная на подходе Schoof [2007] <https://github.com/adamkashdan/SSAsimpleJ>.

По мнению [Rampton, 1982, 1988] ледник оставил широко распространенные отложения (тилл) и вызвал так называемый ледниковый надрыв вблизи своей окраины, а перекрытие ледником многолетнемерзлых пород вызвало деформацию ранее существовавших массивных подземных льдов [Rampton & Mackay, 1971] и погребение внутригрунтового льда в результате ледникового надвига мерзлых отложений с формированием “гляциотектонита” [Murton et al., 2005; Fritz et al., 2012].

На юге острова Мелвилл радиоуглеродные датировки морских моллюсков, транспортированных льдом в составе наиболее распространенных отложений Лаврентийского щита (тилла) показали возраст в интервале 49 – 25 тыс. л. н. [England et al., 2009], что, таким образом, определяет минимальный возраст оледенения. Вместе с тем, авторы [Lacelle et al., 2018] утверждают, что погребенный лед Лаврентийского ледникового щита на северо-западе Канады был погребен вскоре после того, как щит достиг своего максимального распространения примерно 21–17 тыс. л. н., и что отступление щита с окраинных территорий, таких как плато Пил, остров Ричардс, остров Виктория и остров Байлот, произошло в период от 14 – 10 тыс. л. н.

В работе других авторов [Wetterich et al., 2023] приведены данные о прямом датировании льда, отмеченного в [Michel, 1985] как погребенный ледниковый лед, хотя авторы [Wetterich et al., 2023] приходят к выводу что данное ледовое тело имеет гетерогенное происхождение – по их мнению, исходно ледниковый генезис имеет только талая вода, которая была повторно заморожена. Методом радиоуглеродного анализа растворенного органического углерода были представлены дополнительные независимые свидетельства о времени наступления и отступления Лаврентийского ледникового щита. Прямые датировки, полученные таким образом, устанавливают максимальный возраст для ледникового наступления после 25 830 тыс. л. н., или, по меньшей мере, после 21 290 тыс. л. н. [Moorman et al., 1996]. Необходимо учесть также время для транспортировки льда из центра аккумуляции к окраине, где он мог быть погребен – он, по-видимому, имеет возраст последнего ледникового максимума, двигаясь либо из ледникового купола Киватин (Keewatin Dome), либо из Равнинного ледораздела (Plains ice divide) [Lacelle et al., 2018], оба из которых находятся на расстоянии 1000 км и более от острова Гершеля, что требует дополнительного выяснения в дальнейшем.

Природа ледниковой системы потока Маккензи остается пока неясной [Margold et al., 2018]: она могла функционировать как обширная система ледниковых потоков, при которой дистальные лопасти мигрировали латерально через регион (от долины Маккензи до ледникового потока Андерсона и обратно), или же представляли собой совокупность меньших, параллельных, разновременных ледниковых потоков.

Латеральная компонента гравитационного напряжения ледникового щита — а следовательно и смещение базальных слоёв льда по плоскостям надвигов с крупномасштабным скольжением относительно поверхности ложа, а также любые проявления гляциотектоники с образованием дислокаций и аллохтонных блоков пород ложа, отторженцев, противоречат физике формирования ледников. Ледник, движущийся по законам вязкопластической субстанции, в первую очередь отражает растекание льда, он не деформирует и не разрушает препятствий на своём пути, а обтекает их. Тогда как самопроизвольность течения льда является основной причиной ограниченной способности ледника к глубинной эрозии: она сводится главным образом к сглаживанию посредством истирания неровностей ложа с последующей полировкой и образованием штрихов на его поверхности [Крапивнер, 2023].

Геоморфологические комплексы побережья Туктояктук (см. рис. 1, символ Т), вопреки первоначальным интерпретациям, не свидетельствуют о деятельности активного, эродирующего ледника. Напротив, они являются индикатором холодного ледникового покрова, примороженного к своему ложу, когда верхние слои льда могут, отражая растекание льда, скользить по нижним, что вызывает не глубокую гляциотектонику, а надвигание на мерзлые толщи льда в краевой зоне ледника. Формирование тилла

происходило не за счет активного подледникового выпаживания, а путем пассивного вымораживания материала и его отложения при деградации льда.

Отметим, что обозначенный широко распространенный тилл [Rampton, 1982, 1988] в контексте холодного ледника не является классическим деформированным подледниковым материалом – деформационным тиллом. Он мог сформироваться как материал, замороженный в основании льда и отложившийся при его очень медленном таянии. Или это могут быть доледниковые, абсорбируемые ледником отложения, на которые надвигался поток льда. Такой тилл не несет признаков интенсивного пластического перемешивания. Ключевое свидетельство в пользу идей наших исследований [Шейнкман, Каидан, 2023] — это сам факт сохранения погребенных массивных подземных льдов. Их сохранность доказывает, что ледник был холодным, замороженным к ложу, и его воздействие на ландшафт было преимущественно поверхностным. Он не углублялся в ложе, а лишь перераспределял верхнюю часть рыхлых отложений, что полностью соответствует тезису об ограниченной эрозионной способности.

Выводы. По данным предварительного исследования, проведенного летом 2025 года, в прикраевых зонах ледника в этом полярном регионе могут сосуществовать базальный режеляционный лёд и массивный сегрегационно-инъекционный лёд. Вероятно, после 15 тыс. л. н., в относительно тёплый для региона период, значительная часть прибрежной равнины Юкона характеризовалась наличием мёртвого (стагнированного) ледникового льда и высоким поровым давлением в осадках, насыщенных талыми водами, в период деградации ледникового фронта.

Таким образом, наблюдения на побережье Туктояктук подтверждают основную идею на базе наших работ и других авторов по полярным ледникам, что динамика холодного ледника не связана с крупномасштабным пластическим течением и глубокой эрозией. Его воздействие на ландшафт ограничивается поверхностным сглаживанием за счет истирания ложа ледника в прикраевой зоне, что и демонстрирует характер изученных отложений.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке ресурсов по проекту FWRZ-2021-0005

ЛИТЕРАТУРА

Крапивнер Р. Б. «Правило слона» и «принцип верхоглядства» в четвертичной геологии. Обсуждение проблемы и некоторые альтернативы. В 3 ч. Ч. 1. Физические свойства глетчерного льда и ограничения, которые они накладывают на его геологическую деятельность / Р. Б. Крапивнер. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. 70 с.

Шейнкман В.С., Каидан А.И. Интерпретация следов геологической деятельности ледников на основе принципа актуализма и с позиций взаимодействия оледенения и криолитозоны // Материалы LXXVI Герценовских чтений. География: развитие науки и образования. Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. С. 72–83.

Dalto A.S., Dulfer H.E., Margold M., Heyman J., Clague J.J., Froese D.G., Gauthier M.S., Hughes A.L., Jennings C.E., Norris S.L., Stoker B.J. Deglaciation of the north American ice sheet complex in calendar years based on a comprehensive database of chronological data: NADI-1 // Quaternary Science Reviews. 2023. Vol. 321, 108345. doi:10.1016/j.quascirev.2023.108345

Dyke A.S., Andrews J.T., Clark P.U., England J.H., Miller G.H., Shaw J., Veillette J.J. The Laurentide and Innuitian ice sheets during the last glacial maximum // Quaternary Science Reviews. 2002. Vol. 21. Is. 1-3. P. 9-31. doi: 10.1016/S0277-3791(01)00095-6

England J.H., Furze M.F., Doupe J.P. Revision of the NW Laurentide Ice Sheet: implications for paleoclimate, the northeast extremity of Beringia, and Arctic Ocean sedimentation // Quaternary Science Reviews. 2009. Vol. 28. Is. 17-18. P. 1573-1596. doi:10.1016/j.quascirev.2009.04.006

Fritz M., Wetterich S., Meyer H., Schirrmeister L., Lantuit H., Pollard W.H. Origin and characteristics of massive ground ice on Herschel Island (western Canadian Arctic) as revealed by stable water isotope and hydrochemical signatures // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. Is. 1. P. 26-38. doi: 10.1002/ppp.714

Kokelj S.V., Lantz T.C., Tunnicliffe J., Segal R., Lacelle D. Climate-driven thaw of permafrost preserved glacial landscapes, northwestern Canada // *Geology*. 2017. Vol. 45. Is. 4. P. 371–374. doi:10.1130/G38626.1

Lacelle D., Fisher D.A., Coulombe S., Fortier D., Frappier R. Buried remnants of the Laurentide Ice Sheet and connections to its surface elevation // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8, 13286. doi:10.1038/s41598-018-31166-2

Margold M., Stokes C.R., Clark C.D. Reconciling records of ice streaming and ice margin retreat to produce a palaeogeographic reconstruction of the deglaciation of the Laurentide Ice Sheet // *Quaternary Science Reviews*. 2018. Vol. 189. P. 1-30. doi:10.1016/j.quascirev.2018.03.013

Michel F.A. Nature and History of Ground Ice in the Yukon: Isotope Investigations. Department of Energy, Mines and Resources Canada. Earth Physics Branch, 1985. 126.

Moorman B.J., Michel F.A., Wilson A. 14C dating of trapped gases in massive ground ice, Western Canadian Arctic // *Permafrost and Periglacial Processes*. 1996. Vol. 7. Is. 3. P. 257-266. doi:10.1002/(SICI)1099-1530(199609)7:3<257::AID-PPP220>3.0.CO;2-P

Murton J.B., French H.M., Lamothe M. Late Wisconsinan erosion and eolian deposition, Summer Island area, Pleistocene Mackenzie Delta, Northwest Territories: optical dating and implications for glacial chronology // *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1997. Vol. 34. Is. 2. P. 190-199. doi:10.1139/e17-015

Murton J.B., Whiteman C.A., Waller R.I., Pollard W.H., Clark I.D., Dallimore S.R. Basal ice facies and supraglacial melt-out till of the Laurentide Ice Sheet, Tuktoyaktuk Coastlands, western Arctic Canada // *Quaternary Science Reviews*. 2005. Vol. 24. Is. 5-6. P. 681-708. doi:10.1016/j.quascirev.2004.06.008

Murton J.B., Frechen M., Maddy D. Luminescence dating of mid-to Late Wisconsinan aeolian sand as a constraint on the last advance of the Laurentide Ice Sheet across the Tuktoyaktuk Coastlands, western Arctic Canada // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2007. Vol. 44. Is. 6. P. 857-869. doi:10.1139/e07-015

Rampton V.N., Mackay J.R. Massive Ice and Icy Sediments throughout the Tuktoyaktuk Peninsula, Richards Island and Nearby Areas, District of Mackenzie. Geological Survey of Canada, 1971. Paper 71- 21. p. 16.

Rampton V.N. Quaternary geology of the Yukon Coastal Plain // *Geol. Surv. Can. Bull.* 1982. Vol. 317, 49. doi:10.4095/111347

Rampton V.N. Quaternary Geology of the Tuktoyaktuk Coastlands, Northwest Territories // Geological Survey of Canada, Memoir. 1988. Vol. 423, 98. doi: 10.4095/126937

Stoker B.J., Dulfer H.E., Stokes C.R., Brown V.H., Clark C.D., Ó Cofaigh C., Evans D.J., Froese D., Norris S.L., Margold M. Ice flow dynamics of the northwestern Laurentide Ice Sheet during the last deglaciation // *EGU sphere*. 2024. P.1-60. doi:10.5194/tc-19-869-2025

Wetterich S., Kizyakov A.I., Opel T., Grotheer H., Mollenhauer G., Fritz, M. Ground-ice origin and age on Herschel Island (Qikiqtaruk), Yukon, Canada // *Quaternary Science Advances*. 2023. Vol. 10, 100077. doi:10.1016/j.qsa.2023.100077

Zazula G.D., Gregory Hare P., Storer J.E. New radiocarbon-dated vertebrate fossils from Herschel Island: implications for the palaeoenvironments and glacial chronology of the Beaufort Sea coastlands // *Arctic*. 2009. Vol. 62. Is. 3. P. 273–280. doi:10.14430/arctic147

THE ORIGIN OF HERSCHEL ISLAND (CANADIAN ARCTIC): A PALEOCRYOLOGICAL APPROACH

Kashdan A.Y.¹, Sheinkman V.S.²

¹ Polytechnique Montréal, Montreal, Canada

² Earth Cryosphere Institute FRS Tyumen Science Center, SB RAS, Russia

The origin of Arctic islands composed of ice-rich, frozen deposits remains a topic of scientific debate. Using Herschel Island as an example, this abstract examines the debate between two hypotheses: the permafrost (ground ice) origin of underground ice versus its formation from buried ice of ancient ice sheets. The arguments supporting the island's glacial origin are carefully considered, including dating data and the interpretation of deposits as moraines. Based on geomorphological data and an analysis of deposits from the Tuktoyaktuk coast, it is demonstrated that the glacier was cold, thin (about 150 m thick ancient glacier in MIS 4 and a 50 m thick ice shelf in MIS 2), and had limited erosive power, which explains the preservation of the large underground ice bodies.

Keywords: *Arctic islands, underground ice, Herschel Island, Laurentide Ice Sheet, Late Pleistocene, palaeoglaciology, glaciotectonics, cold-based glacier, frozen deposits, till, deglaciation, Tuktoyaktuk Coast*

REFERENCES:

- Krapivner R.B. The "Elephant Rule" and the "Superficiality Principle" in Quaternary Geology: Discussion of the Problem and Some Alternatives. In 3 Parts. Part 1: Physical Properties of Glacier Ice and the Constraints They Impose on Its Geological Activity. St. Petersburg: POLITEKH-PRESS, 2023. 70 p.
- Sheinkman V.S., Kashdan A.Y. Interpretation of the traces of glacial geological activity based on the actualism principle and from the standpoint of the interaction between glaciation and the cryolithozone // Proceedings of the LXXVI Herzen Readings. Geography: Development of Science and Education. St. Petersburg: A.I. Herzen Russian State Pedagogical University, 2023. P. 72–83.
- Dalto A.S., Duffer H.E., Margold M., Heyman J., Clague J.J., Froese D.G., Gauthier M.S., Hughes A.L., Jennings C.E., Norris S.L., Stoker B.J. Deglaciation of the north American ice sheet complex in calendar years based on a comprehensive database of chronological data: NADI-1 // Quaternary Science Reviews. 2023. Vol. 321, 108345. doi:10.1016/j.quascirev.2023.108345
- Dyke A.S., Andrews J.T., Clark P.U., England J.H., Miller G.H., Shaw J., Veillette J.J. The Laurentide and Innuitian ice sheets during the last glacial maximum // Quaternary Science Reviews. 2002. Vol. 21. Is. 1-3. P. 9-31. doi: 10.1016/S0277-3791(01)00095-6
- England J.H., Furze M.F., Doupe J.P. Revision of the NW Laurentide Ice Sheet: implications for paleoclimate, the northeast extremity of Beringia, and Arctic Ocean sedimentation // Quaternary Science Reviews. 2009. Vol. 28. Is. 17-18. P. 1573-1596. doi:10.1016/j.quascirev.2009.04.006
- Fritz M., Wetterich S., Meyer H., Schirrmeister L., Lantuit H., Pollard W.H. Origin and characteristics of massive ground ice on Herschel Island (western Canadian Arctic) as revealed by stable water isotope and hydrochemical signatures // Permafrost and Periglacial Processes. 2011. Vol. 22. Is. 1. P. 26-38. doi: 10.1002/ppp.714
- Kokelj S.V., Lantz T.C., Tunnicliffe J., Segal R., Lacelle D. Climate-driven thaw of permafrost preserved glacial landscapes, northwestern Canada // Geology. 2017. Vol. 45. Is. 4. P. 371–374. doi:10.1130/G38626.1
- Lacelle D., Fisher D.A., Coulombe S., Fortier D., Frappier R. Buried remnants of the Laurentide Ice Sheet and connections to its surface elevation // Scientific Reports. 2018. Vol. 8, 13286. doi:10.1038/s41598-018-31166-2
- Margold M., Stokes C.R., Clark C.D. Reconciling records of ice streaming and ice margin retreat to produce a palaeogeographic reconstruction of the deglaciation of the Laurentide Ice Sheet // Quaternary Science Reviews. 2018. Vol. 189. P. 1-30. doi:10.1016/j.quascirev.2018.03.013
- Michel F.A. Nature and History of Ground Ice in the Yukon: Isotope Investigations. Department of Energy, Mines and Resources Canada. Earth Physics Branch, 1985. 126.
- Moorman B.J., Michel F.A., Wilson A. 14C dating of trapped gases in massive ground ice, Western Canadian Arctic // Permafrost and Periglacial Processes. 1996. Vol. 7. Is. 3. P. 257-266. doi:10.1002/(SICI)1099-1530(199609)7:3<257::AID-PPP220>3.0.CO;2-P

Murton J.B., French H.M., Lamothe M. Late Wisconsinan erosion and eolian deposition, Summer Island area, Pleistocene Mackenzie Delta, Northwest Territories: optical dating and implications for glacial chronology // *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1997. Vol. 34. Is. 2. P. 190-199. doi:10.1139/e17-015

Murton J.B., Whiteman C.A., Waller R.I., Pollard W.H., Clark I.D., Dallimore S.R. Basal ice facies and supraglacial melt-out till of the Laurentide Ice Sheet, Tuktoyaktuk Coastlands, western Arctic Canada // *Quaternary Science Reviews*. 2005. Vol. 24. Is. 5-6. P. 681-708. doi:10.1016/j.quascirev.2004.06.008

Murton J.B., Frechen M., Maddy D. Luminescence dating of mid-to Late Wisconsinan aeolian sand as a constraint on the last advance of the Laurentide Ice Sheet across the Tuktoyaktuk Coastlands, western Arctic Canada // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2007. Vol. 44. Is. 6. P. 857-869. doi:10.1139/e07-015

Rampton V.N., Mackay J.R. Massive Ice and Icy Sediments throughout the Tuktoyaktuk Peninsula, Richards Island and Nearby Areas, District of Mackenzie. Geological Survey of Canada, 1971. Paper 71-21. p. 16.

Rampton V.N. Quaternary geology of the Yukon Coastal Plain // *Geol. Surv. Can. Bull.* 1982. Vol. 317, 49. doi:10.4095/111347

Rampton V.N. Quaternary Geology of the Tuktoyaktuk Coastlands, Northwest Territories // Geological Survey of Canada, Memoir. 1988. Vol. 423, 98. doi: 10.4095/126937

Stoker B.J., Dulfer H.E., Stokes C.R., Brown V.H., Clark C.D., Ó Cofaigh C., Evans D.J., Froese D., Norris S.L., Margold M. Ice flow dynamics of the northwestern Laurentide Ice Sheet during the last deglaciation // *EGU sphere*. 2024. P.1-60. doi:10.5194/tc-19-869-2025

Wetterich S., Kizyakov A.I., Opel T., Grotheer H., Mollenhauer G., Fritz, M. Ground-ice origin and age on Herschel Island (Qikiqtaruk), Yukon, Canada // *Quaternary Science Advances*. 2023. Vol. 10, 100077. doi:10.1016/j.qsa.2023.100077

Zazula G.D., Gregory Hare P., Storer J.E. New radiocarbon-dated vertebrate fossils from Herschel Island: implications for the palaeoenvironments and glacial chronology of the Beaufort Sea coastlands // *Arctic*. 2009. Vol. 62. Is. 3. P. 273–280. doi:10.14430/arctic147