

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОБСТАНОВОК НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В КВАРТЕРЕ И ИХ АНАЛИЗ

<sup>1,2</sup>Шейнкман В.С.

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Тюменский госуниверситет, Тюмень, Россия

Представлены материалы о развитии гляциальных обстановок на севере Западной Сибири в квартере. Оценка порождённых холодом явлений дана с позиций системного подхода. Базируясь на анализе местоположения объектов криосферы Земли и закономерностей его изменений, проведено системное упорядочение объектов криогенно-гляциальных геосистем в занимаемом ими пространстве. Рассматривается взаимоотношение элементов криогенно-гляциальных геосистем с объектами, генерированными смежными геосистемами.

*Ключевые слова:* криогенно-гляциальные геосистемы, анализ гляциальных явлений, плейстоцен, север Западной Сибири

О палеогляциологических образованиях Сибири появилось много новой информации, но нередко она противоречива. Для снятия противоречий только уточнения данных бывает недостаточно – требуются подходы, способные увеличить степень верификации изучаемых явлений. Целесообразно применять тогда системный анализ – его суть состоит в распознании на входе изучаемой системы основных потоков вещества и энергии, выявление, опираясь, на принцип актуализма, их реальных параметров, и на её выходе – интерпретация функционирования данной системы и преобразованного в ней вещества и энергии. База подхода – широкий набор в Сибири представительных современных криогенно-гляциальных систем (КГС) с известными параметрами [Шейнкман, Мельников, 2019]. Тем более что усиление криоаридизации климата с запада и юго-запада на восток и северо-восток определяет в Сибири чёткую смену типов КГС, когда современные значения их параметров на востоке, и особенно на северо-востоке, сопоставимы с параметрами геосистем прошлого в Западной Сибири. Это особенно важно для севера Западной Сибири, под которым подразумевается её часть севернее ориентированного широтно среднего течения Оби.

Причина в том, что порой на былое пространство Западной Сибири без должной корректировки переносятся черты явлений, присущих другим территориям – принципиально иных по условиям происхождения. Установить статус и доминантные элементы геосистем становится тогда основной задачей. Необходимость ее решения возрастает, если нужно установить закономерности развития объектов криосферы в условиях взаимодействия различных явлений: на фоне превалирующего промерзания земной коры, но при участии гляциальных, ледово-речных, ледово-морских и педогенных процессов, что характерно для пространства Западной Сибири в квартере. Приоритетным решением в данном случае будет раскрытие общих закономерностей гляциальных событий, имевших место в квартере, и оценка их характера на рассматриваемом пространстве. Функционирование КГС в моделях с наличием и отсутствием ледниковых тел кардинально разное, а палеокриологические реконструкции по региону варьируют от оперирования гигантскими ледниками [Земцов, 2001; Гросвальд, 2009; Svendsen et al., 2014, Möller et al., 2019] до полного их отрицания [Чувардинский, 2012; Кузин, 2013; Крапивнер, 2018]. Анализ с позиций системного подхода позволил оценить здесь потенциал доминант оледенения, выявив среди них явления, которые могут быть признаны типичными, нетипичными или нереальными, что требовало вначале установить на пространстве исследуемой криогенной системы закономерности развития гляциальных объектов как присущих или не присущих ей элементов. Дело в том, что спор о размещении на данном пространстве в прошлом ледников идёт большей частью на основе

интерпретации форм рельефа и отложений, полагаемых как следы оледенения, но при их изучении от закономерностей его развития исследователи часто абстрагируются. Тогда как в первую очередь требуется вскрыть такие закономерности, выявить природу оледенения, и лишь затем оценить потенциал его воздействия.

Как фактор размещения в регионе ледниковых щитов в некоторые из криохронов часто служит гряда Сибирских Увалов на правом берегу Средней Оби. По аналогии с внешне похожими формами Русской равнины сторонники ледниковых покровов считают ее мореной [Земцов, 2001; Panin et al., 2020]. Причина – в теле гряды и на равнине, прилегающей к ней, встречаются эрратические валуны, принимаемые в модели с ледниковым щитом за морену. Опираясь на накопленные данные [Шейнкман и др., 2017; Шейнкман, Мельников, 2014, 2019; Sheinkman, 2016], покажем, почему такая модель абстрагирована от параметров потенциально возможной здесь КГС (по [Шейнкман, Мельников, 2019]) и нереальна.

Условное помещение в рассматриваемое пространство ледникового щита, как особого порождённого холодом объекта, реально только в случае соответствия критериев его развития законам функционирования КГС, чего в нашем случае не отслеживается. Суть в следующем. Как фактор крупного, в прошлом, оледенения Западной Сибири его сторонники обычно предлагают развитие ледниковых центров в прилегающих горах и на Карском море – проверим эти модели с позиций системного подхода, учитывая, что глубина и объём основных криохронов (Рис. 1) на шкалах палеоклиматических летописей в квартере однотипны. А в конце его, во время морских изотопных стадий (МИС) 1–6, они вообще становились примерно одинаковыми [Lisiecki, Raymo, 2005]. Начнём с модели, оперирующей промерзанием Карского моря и нарастанием поверх образуемого гидрогенного льда огромной толщи осадочно-метаморфического льда, способного надвигаться на материк.

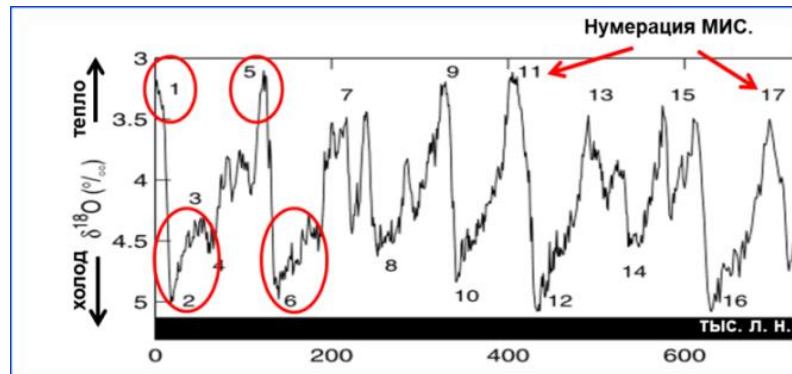


Рис. 1. Палеогеографическая летопись по [Lisiecki, Raymo, 2005]. Красным овалом выделен ход криохронов и термохронов в конце квартера. Пояснения в тексте.

Есть много способов расчёта промерзания водоёмов, обычно – на основе задачи Стефана в виде эмпирической зависимости толщины льда  $h$  от накапливаемой за время  $t$  суммы отрицательных температур воздуха  $\theta$ , функцией которой в определённом приближении может рассматриваться и его среднегодовая температура. В итоге строятся аппроксимации в виде соотношения:  $h(t) \cong K \sqrt{\theta(t)}$ , где  $\theta(t)$  – сумма отрицательных температур воздуха, с осреднением за период  $t$ , и  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий свойства льда при его нарастании до величины  $h$  за период  $t$ . В современных условиях Арктики, например, часто используют эмпирическую формулу известного исследователя льдов Арктики Н. Н. Зубова [1956]:

где  $h$  – конечная толщина льда в см;  $h_0$  – начальная толщина льда в см;  $\Sigma (-T)$  – сумма отрицательных температур воздуха в °С за предшествующий началу расчёта период.

Конечно, для подобных расчётов универсальных формул нет, любая из них даёт усреднённые результаты. Но, несмотря на эту усреднённость, приведенные выше зависимости ясно показывают: чтобы увеличить толщину льда  $h$  на один порядок, значения под радикалом, определяющие охлаждение территории, должны быть на два порядка больше. Поясним ситуацию, как типичный термохрон, предшествующий криохрону или сменяющий его, взяв МИС-1 – с пиком на этапе современности (см. рис. 1). В самых холодных районах Арктики ныне плавучий лёд нарастает до 4–5 м, становясь многолетним, в Карском море он частично стаивает, достигая зимой 1,5 м-толщины, а относительно среднегодовой температуры воздуха сегодня (–10 °С – –12 °С) её снижение в криохроны в этом районе могло достичь (согласно основным моделям её опускания [Kutzbach, 1998]) лишь вдвое большего, по абсолютной величине, значения. Даже простейшие оценочные расчёты покажут: поверхность моря может в криохроны покрыться паковым льдом, но промёрзнет оно максимально лишь на первые десятки метров; для большего понадобится на порядки увеличить длительность криохронов и охлаждение территории, что, исходя из знаний о климатической ритмике в плейстоцене, нереально. Можно вспомнить и концепцию [Томурдиаро, 1972], в которой дан расчёт отепления Арктики водами Атлантики и показано: её промерзание реально до мощности прибрежной мерзлоты (400–500 м) лишь при создании порога, разделяющего оба бассейна. Однако бурение в них выявило, что активный обмен вод между ними в плейстоцене не прекращался [Moran et al., 2006; Rasmussen et al., 2007].

Рассмотрим теперь условия питания ледников в районе Карского моря. Это важнейший параметр их режима, зависящий от близости иссландско-карской барической ложбины. Она вытянута вдоль проникающей сюда струи Гольфстрима – у её предела на востоке лежит Северная Земля [Чижов, 1976]. Аккумуляция на ледниках Исландии достигает >300 г/(см<sup>2</sup>·год) и падает на Шпицбергене до 100 г/(см<sup>2</sup>·год) и до 50–80 г/(см<sup>2</sup>·год) на Новой Земле [Атлас ..., 1997]. В западной части Северной Земли она уже составляет 40–45 г/(см<sup>2</sup>·год), в восточной – 15–20 г/(см<sup>2</sup>·год), и снижается до 7–10 г/(см<sup>2</sup>·год) в прибрежной зоне [Большаинов, Макеев, 1995]. Таким образом, без влияния Гольфстрима ледники в данном районе станут получать питание лишь 10–20 г/(см<sup>2</sup>·год), т. е. условия для них будут примерно такие же, как в центре Гренландии, ледниковый щит которой, обладая весьма малой энергией оледенения (по [Шумский, 1955]), достиг своих размеров за период намного дольше типичных криохронов: возраст придонного льда у него около 300 тыс. лет [Talalay, 2013; Bierman et al., 2014]. Ожидать подобной длительности криохронов на рассматриваемой территории не приходится. Добавим, что в криохроны влага, идущая в регион с Атлантики, будет закономерно перехвачена сформировавшимся в то время скандинавским ледниковым щитом – даже после покрытия паковым льдом всей поверхности Карского моря, на ней осадочно-метаморфический лёд формироваться будет очень медленно. Требуемой для ледникового щита толщины он достиг бы, как и в Гренландии, за сотни тысяч лет. В любом случае, в модели Карского ледникового щита он в течение обычного криохрона должен быть обеспечен снежным питанием больше, чем сегодня, на порядок. Но закономерности общей циркуляции атмосферы накладывают на это запрет, определяя, что климат в Сибири на всех этапах квартала обязан быть сухим и холодным, колеблясь лишь в формате “более и менее сухо” и «более и менее холодно» [Шейнкман, Мельников, 2014, 2019].

Также добавим, что толщина Карского ледника требовала бы величины в несколько километров – иначе он обязан был двигаться не на материк, а в сторону больших глубин в центре Арктики. С позиций системного подхода это не реально: для промерзания и покрытия Карского моря наступающей на материк, огромной толщей льда, в пределах рассматриваемой геосистемы недостаточно ни силы охлаждения региона в криохроны, ни длительности их, ни количества способной питать крупны ледники снежной массы.

Отметим случаи подстановки в модели данных внешнего сходства определённых образований при сопоставлении, абстрагировано от реальной ситуации, Западносибирской и Русской равнины. Древний ледник шёл на Русскую равнину из Скандинавии, многие горы которой выше 2000 м, имеют большую площадь ( $>800$  тыс. км<sup>2</sup>), а атмосферных осадков на них ныне оседает от 3000 до 5000, порой до 7000 мм/год – *более, чем на порядок превышая количество осадков на севере Западной Сибири*. В итоге питание у ледников Скандинавии обильно:  $>300$  г/(см<sup>2</sup> · год), и при похолодании климата обеспечит быстрое снижение хионосферы, разрастание ледников до крупных размеров и высокое значение, на этапе их роста, энергии оледенения. А горы, окружающие север Западной Сибири, получая на порядок меньше осадков, вдвое ниже Скандинавских – высота их обычно до 1000 м; немного выше 1500 м лишь отдельные массивы, но и они более чем на километр ниже современной климатической снеговой линии, а фоновое снегонакопление в них вдвое меньше снеготаяния [*Атлас ...*, 1997]. Ныне здесь, при небольшом количестве осадков (в районе полярного круга около 400 мм/год) развиты лишь малые ледники. Они *азональные* – существуют за счёт сноса снега с окружающих склонов и его локального накопления. Даже максимально допустимое в криохроны для данного района опускание хионосферы (на величину около 1000 м, или пусть несколько больше [*Sheinkman, 2016*]) не даст крупных ледников: оно вызовет лишь сближение снеговых линий – местной, обусловленной перемещением снега ветром со склонов, и климатической, определяемой общими зональными причинами. Учитывая, что горное обрамление региона было в прошлом ниже, здесь зона ледосбора у ледников могла охватить в криохроны лишь самую высокую, малую по площади часть гор, и эти ледники, даже становясь зонально обусловленными, все равно остались бы небольшими.

Примеры неправомерного сопоставления холодных, с малой энергией оледенения, и теплых, с высокой энергией оледенения, к сожалению, ледников нередки. Так в работе [*Тумской, 2022*] предложена аналогия палеогляциологической обстановки на Новосибирских островах с ситуацией на современных ледниках Мак-Кинли на Аляскинском хребте. Хотя в первом случае питание даже современных ледников, которые невелики и очень холодные, составляет около 10 г/(см<sup>2</sup>·год), и условия для развития оледенения здесь неблагоприятны; естественно, не могли быть они благоприятны и в криохроны. А во втором случае благодаря влиянию теплого течения Куроисио ледники теплые, а питание у них в десятки раз больше – 300-500 г/(см<sup>2</sup>·год). Иными словами, перенос параметров гляциальной обстановки на хорошо увлажненных, с развитой теплой фирновой зоной, ледниках Аляскинского хребта на оледенение Новосибирских островов, формируемого в условиях холодной фирновой и ледяной зоны некорректно. На Аляске его данные можно сравнивать только с данными ледников в ее внутриконтинентальной области, например – по холодному леднику Мак-Кол в хр. Брукса, где питание тоже составляет около 10 г/(см<sup>2</sup> · год). В Гренландии, напомним, при такой величине питания на рост ледникового щита потребовалось около 300 тыс. лет.

Подчеркнём: малая энергия присуща всем, и современным, и древним ледникам Сибири (они образуются по холодному типу [*Sheinkman, 2016*]) и на этапе их роста она определит очень медленное, в отличие от увлажненных гор Скандинавии и Аляски, накопление ледовой массы и также медленное их продвижение на ограниченное расстояние. Достижение формата холодных ледниковых щитов в условиях региона потребовало бы увеличить длительность криохронов на порядок и более, что несовместимо с закономерностями климатической ритмики в плейстоцене, тогда как быстро образуемые, с высокой энергией, ледниковые покровы несовместимы с характерными для региона условиями – с малыми атмосферными осадками и глубоким промерзанием горных пород.

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М., РАН, Ин-т географии, 1997, т. 1, 392 с.; т. 2, кн. 1, 263 с.; т. 2, кн. 2, 270 с.

*Большаинов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля. Оледенение, история развития природной среды. СПб., Гидрометеиздат. 1995. 216 с.

*Гросвальд М.Г.* Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. 2009. № 106. 152 с.

*Земцов А.А.* Проблемы Сибирских Увалов // Вопросы географии Сибири. 2001. Вып. 24. С. 7–18.

*Зубов Н.Н.* О льдах Арктики и Антарктики. М., Изд-во МГУ, 1956, 118 с.

*Крапивнер Р.Б.* Кризис ледниковой теории: аргументы и факты. М., ГЕОС, 2018, 320 с.

*Кузин И.Л.* Мифы и реалии учения о материковых оледенениях. СПб.: Изд. СЗНИИ «Наследие», 2013. 178 с.

*Томирдиаро С.В.* Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей. Магадан, Магаданское книжное изд-во, 1972, 174 с.

*Тумской В.Е.* Криостратиграфия и история геологического развития четвертичных отложений Арктической Якутии. Автореф. дисс. на соискание уч. степ. д. г.-м. н. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2022, 47 с.

*Чижов О.П.* Оледенение Северной полярной области. М., Наука, 1976, 240 с.

*Чувардинский В.Г.* Четвертичный период. Новая геологическая концепция. Апатиты, изд-во Кольского научного центра РАН, 2012, 179 с.

*Шейнкман В.С., Мельников В. П.* Ледники Сибири как компонент криолитогенно-гляциальных геосистем // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 2. С. 3–23.

*Шейнкман В.С., Мельников В.П., Седов С.Н.* и др. Новые свидетельства внеледникового развития севера Западно-Сибирской низменности // Доклады РАН. 2017. Т. 477. № 4. С. 480–484. doi: 10.7868/S0869565217340199

*Шейнкман В.С., Мельников В.П.* Эволюция представлений о холоде и возможные пути их развития в науках о Земле // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 5. С. 3–16. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2019-5(3-16)

*Шумский П.А.* Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1955, 492 с.

*Kutzbach J., Gallimore R., Harrison S. et al.* Climate and biome simulations for the past 21,000 years // Quaternary Science Reviews. 1998. Vol. 17. Is. 6-7. P. 473–506. doi: 10.1016/S0277-3791(98)00009-2

*Lisiecki L.E., Raymo M.E.* A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // Paleoclimatology. 2005. Vol. 20. Is. 1. PA1003. doi:10.1029/2004PA001071

*Möller P., Benediktsson Í.Ö., Anjara J. et al.* Glacial history and paleoenvironmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene // Earth Science Reviews. 2019. Vol. 196. 102832. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.04.004

*Moran K., Backman J., Brinkhuis H. et al.* The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // Nature. 2006. Vol. 441. P. 601–605. doi: 10.1038/nature04800

*Rasmussen T.L., Thomsen E., Slubowska M.A. et al.* Paleoclimatological evolution of the SW Swabard margin (76°N) since 20000 14C yr BP // Quaternary Research. 2007. Vol. 67. Is.1. P. 100–114. doi: 10.1016/j.yqres.2006.07.002

*Panin A.V., Astakhov V.I., Lotsarie E. et al.* Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // Earth Science Reviews. 2020. Vol. 201. 103069. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.103069

*Sheinkman V.* Quaternary glaciation in North-Western Siberia – New evidence and interpretation // Quatern. International. 2016. Vol. 420. P. 15–23. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.147

*Svendsen J.I., Krüger L.C., Mangerud J. et al. Glacial and vegetation history of the Polar Ural Mountains in northern Russia during the Last Ice Age, Marine Isotope Stages 5–2 // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. P. 409–428. doi:10.1016/j.quascirev.2013.10.008*

*Talalay P.G. Subglacial till and bedrock drilling // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. P.142–166. doi: 10.1016/j.coldregions.2012.08.009*

## **REGULARITIES OF DEVELOPMENT OF GLACIAL ENVIRONMENTS IN THE NORTH OF WEST SIBERIA IN THE PLEISTOCENE AND THEIR ANALYSIS**

<sup>1,2</sup>*Sheinkman V.S.*

<sup>1</sup>Earth Cryosphere Institute, Tyumen Science Center, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia

There are presented materials concerning development of glacial environments in the North of West Siberia in the Pleistocene. Estimation of phenomena yielded by cold has been given from the positions of the system approach. Basing on the analysis of the placement of Earth Cryosphere' objects and its changes, a system arrangement of the objects of cryogenic-glacial geosystems in the space occupied by them has been carried out. There also considered interaction of the elements of the cryogenic-glacial systems with the objects generated by contiguous geosystems.

Keywords: *cryogenic-glacial geosystems, analysis of glacial phenomena, Pleistocene, north of West Siberia*