

## ПЛАСТОВЫЕ ЗАЛЕЖИ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА В СВЕТЕ ДАННЫХ ОБ ОЛЕДЕНЕНИИ СИБИРИ

В.С. Шейнкман

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюменский государственный университет,  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

В ходе многолетнего исследования ледников и подземных льдов, на всем протяжении Сибири, автором собран фактический материал, на основе которого анализируется возможность погребения ледников в области развития многолетней мерзлоты и оценивается длительность их пребывания в таком состоянии. Сделан вывод, что в масштабе геологического времени существование погребенных ледников в Сибири нереально, а спорные, иногда относимые к реликтам древних ледников пластовые залежи подземного льда на севере Сибири не являются по происхождению ледниковыми.

**Ключевые слова:** оледенение, мёрзлые толщи, плейстоцен, подземные льды, пластовые залежи льда.

### Введение

Большая часть Сибири лежит в области холодного континентального климата, и создание полноценной картины развития её природных льдов является актуальной, касающейся проблемы прогнозтики окружающей среды задачей. Одной из её сторон и предметом острых споров выступает вопрос о генезисе пластовых залежей подземного льда. Дебатируется этот, прежде всего, в плане правомерности или неправомерности отнесения залежей ко льдам погребённых ледников. Порой озвучивается, что решение найдено, но потом спор разгорается вновь. Как пример можно привести работы Е.Г. Карпова по залежи льда «Ледяная гора» на Енисее. Этот исследователь долгое время считал залежь результатом неоднократных инъекций напорных подземных вод [Карпов, Григорьев, 1978], но затем перешёл на точку зрения сторонников её ледникового происхождения, изложив новый взгляд в монографии [Карпов, 1986]. Однако вскоре в соавторстве с Т.П. Кузнецовой выходит ещё одна монография Е.Г. Карпова [1989], и в ней говорится, что гипотеза о ледниковом происхождении пластовых залежей льда себя не оправдывает, и, наряду с её критической оценкой, в [Кузнецова, Карпов, 1989] вновь развёрнута детальная картина их внутригрунтового происхождения.

Данный пример характерен и приведён не для того, чтобы показать непостоянство суждений определённого исследователя. Он демонстрирует: при решении задач такого рода возникают различные коллизии, даже одним автором один и тот же объект в разное время может освещаться с полярных позиций, и мешает в аналогичных ситуациях, прежде всего, односторонность оперирования данными. Целное восприятие образа криосферы не подвергается сомнению, но нередко в подобных случаях спе-

циалисты-мерзлотоведы не вникают в детали гляциологических разработок, специалисты-гляциологи – в тонкости многолетнего промерзания горных пород, а геологи четвертичного направления обходят вниманием и то и другое. Иными словами, в исследовании объектов криосферы междисциплинарный подход декларируется, но на практике в отношении явлений, характеризующих разные её стороны, имеет место определённый недоучёт данных, особенно в плане взаимодействия мерзлотных и гляциальных процессов. В итоге накапливается потенциал противоположных мнений, и в отношении пластовых залежей подземного льда это проявляется особенно ярко.

В силу того что главный вопрос, разделяющий исследователей в данном случае, касается верификации внутригрунтового происхождения пластовых залежей подземного льда или применения к ним модели первично гляциального образования, при проведении анализа проблемы автором во главу угла было поставлено освещение её с разных точек зрения. Поскольку именно объединяя их с позиций общей методологии науки криологии Земли и осуществляя междисциплинарный контроль результатов, реально охватить многосторонность данной проблемы и найти для неё приемлемое на сегодня решение.

### Основные дискуссионные моменты и история вопроса

Отнесение залежей льда к реликтам древних ледников может обсуждаться лишь после доказательства реальности их развития и погребения под осадками, способными предотвратить таяние льда. Суть проблемы, таким образом, касается разных подходов к развитию ледников в условиях холодного конти-

континентального климата Сибири. Общие закономерности этого процесса разобраны автором в [Шейнкман, 2010; Шейнкман, Мельников, 2014; Шейнкман, Плюснин, 2015; Sheinkman, 2011; 2016], поэтому здесь только отметим, что в итоге проведённого им анализа сделан вывод, что с позиций законов развития оледенения в Сибири нет базы для возникновения ледниковых щитов, а образования, принимаемые за их следы, отражают специфику формирования речной сети. Вначале основой палеогляциологических реконструкций здесь служили альпийские схемы, но уже в 1930–1940-е гг. многими учёными они подверглись критике – наиболее ёмко это выразил И.Г. Пидопличко, писавший о гипертрофированном восприятии былых ледников [Пидопличко, 1946]. В 1950–1960-е гг. благодаря программе Международного геофизического года (МГГ) было установлено, что к востоку от Урала работают схемы оледенения, отличные от альпийских построений. Но затем, взяв последние за основу, ряд авторов [Архипов, 2000; Гросвальд, 2004] опять представили модели материковых ледников Сибири и гипотезу захоронения на длительное время их реликтов [Каплинская, Тарноградский, 1976; Соломатин, 1977]. Причём, как показывает анализ литературы, по-прежнему разногласия возвращают нас к спору о концепции [Воейков, 1881], когда суть сводится к тезису: прав был или не прав её автор, отрицая широкое распространение ледников в глубине Евразии. Это затрагивает принципиальные вопросы развития природы внутри материка, и уже в начале спора в нем приняли участие многие ведущие учёные – концепцию [Воейков, 1881] одни из них поддерживали, другие стали её оппонентами [Черский, 1882; Берг, 1938; Обручев, 1951].

Подчеркнём: тренд оледенения используют при решении ключевых задач развития природы, и от модели, помещаемой в основу построений, зависит весь ход экстраполяций. Сегодня главные критерии формирования и сохранения различных льдов известны, и, используя краеугольный метод исследования – актуализм, по основным пунктам спора получить необходимую для его разрешения исходную информацию вполне реально. Уже не вызывает сомнения, что высокая снежность – благоприятный фактор для оледенения, но он препятствует развитию мерзлоты, а холодный континентальный климат способствует промерзанию пород, но противостоит широкому развитию ледников. Причём небольшая аккумуляция (в среднем до  $50 \text{ г/см}^2$  в год), при высокой летней абляции, и чуткая реакции на ритмику квартера термохрон-криохрон с шагом около 20 тыс. лет, не дают ледникам Сибири достичь формы больше долинных потоков льда [Шейнкман, 2010; Sheinkman, 2011; Шейнкман, Мельников, 2014; Шейнкман, Плюснин, 2015]. В отличие от, например, Антарктиды – в её

центре аккумуляция составляет около  $2,5 \text{ г/см}^2$  в год, но идёт она без абляции многие тысячи лет, или от Скандинавии, где аккумуляция до  $200 \text{ г/см}^2$  в год позволяет ледникам при похолодании быстро наращивать ледовую массу до ледникового щита.

Сибирь расположена в основном южнее и около Полярного круга, и атрибутом здесь является тёплое лето, определяющее высокую абляцию на ледниках. Захоронение их в таких условиях на длительное время реально лишь в обстановках, возникающих крайне редко. Все ледники формируются здесь в горной местности, и морены, способные потенциально бронировать лёд, представлены преимущественно крупнообломочным материалом. Сквозь него, вызывая активное таяние льда под ним, с жидкими осадками, воздухом и талыми водами летом легко проникает тепло, и при омертвлении льда его масса, будучи невозобновляемой, не сможет стабилизироваться (в отличие от ситуаций с внутригрунтовым льдообразованием [Втюрин, 1972; Фельдман, 1977]). Она, по данным многолетнего изучения автора и сделанного им анализа литературы, будет геологически быстро (десятилетия – первые столетия) стаивать, так как для формирования многометровой насыпи, способной играть роль теплоизолятора, на ледниках Сибири возможностей нет. Даже на Северо-Востоке Сибири, в районе со среднегодовой температурой воздуха около  $-17^\circ\text{C}$  и её минимумом для Северного полушария  $-67,8^\circ\text{C}$ , мёртвый лёд на ледниках обычно сохраняется, по данным наблюдений автора и опрошенных им очевидцев, в среднем до 100 лет.

Однако применение отмеченных критериев к обстановкам прошлого к единству мнений пока не приводит. Во многом дело упирается в накопленные традиции. Судя по литературе, первое объяснение залежам льда дал О.Е. Коцебу: исследуя в 1816 г. берега Аляски, льды в их обрывах он счёл преобразованным погребённым фирном [Коцебу, 2011]. Позднее, изучая побережье моря Лаптевых, А.Е. Фигурин [1825] сделал вывод, что большая часть его подземных льдов – результат замерзания воды в морозобойных трещинах, а И.А. Лопатин [1876] во время Туруханской экспедиции 1866 г. установил их отличие от пластовых льдов; хотя, определив для первых мерзлотный генезис, за вторыми он все же оставил механизм трансформации лежалого снега и занесения его (а также льдин водоёмов) илом и песком.

Но вскоре известный исследователь Арктики Э.В. Толль, будучи под сильным влиянием альпийских схем, вновь отнёс все подземные льды на её побережье к захоронениям метаморфизованного фирна [Толль, 1897]. Он считал мёрзлые толщи Сибири наследием былых эпох, его авторитет был высок, и многие авторы до 1950-х гг. относили подземные льды к погребённым реликтам прошлого. Ока-

зало это влияние и на основателя мерзлотоведения М.И. Сумгина: в первом своём обобщающем труде он писал о подземных льдах как о внутригрунтовых образованиях [Сумгин, 1927], а в последнем [Сумгин и др., 1940] – как об ископаемых свидетелях бывшего оледенения. Поколебало такой подход только вскрытие полигонально-жильного генезиса многих льдов и создание в 1950-х гг. цельной концепции льдообразования [Шумский, 1955; Попов, 1967; Втюрин, 1975; Романовский, 1977]. Хотя некоторые исследователи и сегодня обращаются к гипотезе [Толль, 1897], чтобы обосновать (как в [Гросвальд, 2004], например) для Сибири бывшие ледниковые щиты. Но не упоминают при этом, что Э.В. Толль их не предполагал – и он, и его последователи писали [Воллосович, 1905; Григорьев, 1932; Колосов, 1947] о маломощных ледниках-снежниках и фирновых полях площадного распространения. Их взгляды, в итоге, легли в основу концепции пассивного оледенения [Большаянов и др., 2013].

Что касается собственно термина «пластовый лёд», он стал применяться не так давно. В [Шумский, 1955] был предложен термин «интрузивные пласты льда» для инъекционных льдов. Затем генетическая нагрузка осталась в стороне, и акцент был перенесён на форму залежей. В [Втюрин, 1975], например, уточнено, что к залежеобразующим пластовым льдам следует относить различного генезиса крупные подземные ледовые тела толщиной свыше 0,3–0,5 м (близкая трактовка сегодня дана и в словаре [Геокриологический словарь, 2003]). Планомерное их изучение началось в 1960-е гг., причём практически одновременно на Чукотке [Гасанов, 1969], в Западной Сибири [Дубовиков, Корейша, 1964; Баулин, Дубиков, 1970; Дубиков, 2002; Крицук, 2010], в низовьях Енисея [Шмелев, 1967; Втюрин, 1972] и на севере американского материка [Maskay, 1971].

Название «пластовые льды» стало понятием собирательным, и затем на отдельном заседании Научного Совета по криологии Земли АН СССР было проведено их широкое обсуждение – результаты изданы в специальном выпущенном сборнике научных статей в 1982 г. [Пластовые льды... 1982]. Многие дала проведённая в Сибири в конце прошлого века обновлённая площадная геологическая съёмка. В частности, в Западной Сибири, порой считавшейся типичным регионом материкового оледенения, большинство исполнителей съёмки, на основе огромного массива полученных данных, констатировали для квартала широкое развитие криолитоге-неза, но покрытие ее ледниковым щитом отвергли [Кузин, 2005; Гусев и др., 2012; Жарков, Зиновьев, Трофимова, 2015]. Соответственно, и встречаемые здесь пластовые льды не могли считаться захороненными ледниковыми реликтами. Поэтому, хотя вопрос происхождения этих льдов во многом оста-

вался открытым, ответ на него, так или иначе, нужно искать в объяснениях иного характера.

Казалось бы, мнения, по крайней мере, в отношении детально изученных районов должны устояться. Однако рядом авторов по-прежнему безоговорочно поддерживаются и гипотеза о материковом оледенении Сибири [Архипов, 2000; Гросвальд, 2005], и отнесение к его реликтам многих пластовых льдов [Каплянская, Тарноградский, 1993; Соломатин, 2013]. Хотя в последние годы обобщены детальные исследования [Дубиков, 2002; Васильчук, Васильчук, 2010; Крицук, 2010; Васильчук, 2011; Стрелецкая и др., 2012], наряду с уже имеющимися проработками [Баулин, Дубиков, 1970; Втюрин, 1972; Гасанов, 1984] исключают возможность отнесения пластовых залежей льда к остаткам погребённых ледников.

### **Методы исследования и использованные материалы**

Главная причина противоречий в отношении прошлого – приписывание разного происхождения одному генетическому типу явлений. Это ставит вопрос о верификации имеющихся гипотез, и, понимая под ними [Груза, Романовский, 1974] соответствующие известным фактам и объясняющие их взаимосвязи предположения, в нашем случае реально применить методологический подход [Гасанов, 1984], отработанный на многих порождённых холодом объектах. Суть его в том, что в ситуации, подобно нашей, противоречия разрешаемы, если, строго придерживаясь законов развития криосферы, также строго применять актуализм, используя его фундаментальный принцип переноса знаний о существующих объектах в прошлое – именно это помогает разобраться в сложном переплетении данных, когда явления интерпретируются с позиций разных составляющих науки криологии Земли. В целом же для наших объектов есть два пути верификация гипотез: прямых экстраполяций и стратегии проверки [Груза, Романовский, 1974]. Первый путь применим, когда имеется уверенность, что есть современные аналоги объектов прошлого; расхождения возникают, если анализируют не все факты, и снимаются в процессе дополнительного набора и более тщательного учёта эмпирических данных. Когда нет такой уверенности и необходимы эвристические процедуры – объединение фактов в рамках не поддающегося наблюдению явления и построение его модели с помощью обусловленных допущений, используется второй путь.

Применяя методику [Гасанов, 1984] и опираясь на многолетний опыт работы в разных районах, автор провел верификацию основных моделей погребения ледников и сохранения их реликтов – с учётом

возможных вариантов взаимоотношения залежей пластовых льдов и ледников. Частично этот вопрос был затронут им в [Мельников и др., 2013]; теперь он разобран в более широком аспекте, и поскольку в Сибири четвертичные образования отражают тесную связь различных криогенных процессов, анализ проведён в свете предложенной ранее [Мельников, 2014; Шейнкман, Мельников, 2014] концепции криоразнообразия. Под криоразнообразием подразумевается множество порождённых холодом объектов, и, изучая их несходные неповторяющиеся элементы, каждый из которых несёт свой особый объем информации, можно получить необходимое поле объективных перекрёстных данных. Используя их, автор сделал акцент на учёте, по возможности, всех порождённых холодом явлений, протекающих в условиях специфичных мерзлотно-гляциальных обстановок Сибири.

### Верификация возможных моделей погребения ледникового льда в Сибири

*Анализ с позиций общих подходов.* Сторонники ледникового генезиса пластовых залежей льда привычно считают, что его погребение и затем длительная консервация под отложениями морены – это факт, не нуждающийся в Сибири в особых доказательствах. Часто при этом ссылаются на данные М.М. Корейши [1963], который описал бронирование отступающих горных ледников и затем отчленяющегося от них мертвого льда в условиях криолитозоны. Но описанное в [Корейша, 1963] бронирование ледников мореной не означает их погребение на длительное время [Мельников и др., 2013; Шейнкман, 2010; Шейнкман, Мельников, 2014]. М.М. Корейша, став позднее изучать пластовые льды [Дубиков, Корейша, 1964; Корейша, Хименков, Брыксина, 1981], исключил их ледниковое происхождение, сделав это в противовес авторам, вернувшимся в 1970-х [Каплянская, Тарноградский, 1976; Соломатин, 1977] к восприятию подобных льдов как реликтов материкового оледенения Сибири. Об их ледниковом генезисе эти авторы даже стали писать [Каплянская, Тарноградский, 1993] как о надёжно установленном факте. В [Соломатин, 2013], например, наряду с раскрытием в широком спектре хода формирования подземных льдов, о пластовых льдах, тем не менее, высказано однозначно: *«В настоящее время строго доказана погребённая глетчерная природа пластовых льдов... и остаётся открытым вопрос о происхождении лишь некоторых пластообразных залежей льдов...»* [Соломатин, 2013, с. 140]. Хотя есть и переходные мнения: например, в [Шполянская, 2015] для большинства пластовых льдов обоснован внутригрунтовый генезис, но упомянутая залежь «Ледяная гора» на Енисее все же сочтена за-

хороненным реликтом спускавшегося с плато Путорана ледника.

Обратимся ещё раз к работам М.М. Корейши: он долго изучал ледники, и его трудно обвинить в предвзятости к ледниковой гипотезе; в [Корейша, Хименков, Брыксина, 1981, с. 65–66] подчёркнуто: *«Очень заманчивые попытки объяснить генезис подземного льда действием одного механизма льдообразования, к сожалению, далеко не всегда могут привести даже к частному, региональному решению проблемы, не говоря уже о ее общем решении... С этой точки зрения поиски чисто внешних аналогий в строении, например, ледниковых метаморфических льдов и деформированных подземных являются методической ошибкой»*. Фактически этими словами озвучено, что к данной проблеме не должно быть упрощённых подходов – криоразнообразие отличается большим набором элементов, распознать взаимоотношение которых позволяет лишь строгий учёт всех вариантов их сочетания. Сегодня для этого уже есть пригодные для использования в Сибири, обобщающие широкий спектр данных по геологической деятельности ледников, работы [Лаврушин, 1976; Патерсон, 1984; Серебряный и др., 1984; Серебряный и др., 1989; Boulton, 1996; Большиянов, 2006], и, опираясь на них, раскрыть рассматриваемые явления вполне реально.

Подчеркнём: для геологически длительной консервации льда ледников даже среди мёрзлых толщ нужен соответствующий теплозащитный покров. Возьмём как пример обстановок с развитой криолитозоной Якутское Приполярье. В песчаных отложениях толщина сезонно-талого слоя здесь около 1 м, в мелкообломочных с заполнителем – увеличивается до 2,5 м и резко возрастает в крупнообломочном материале [Васильев, 1982]. В Сибири среди морен преобладает крупно- и грубообломочный материал небольшой мощности, и, как отмечено выше, летом сквозь него с жидкими осадками, воздухом и талыми водами легко проникает тепло, и при омертвлении льда его масса, будучи невозобновляемой, не сможет стабилизироваться и начнёт вытаивать. Нет здесь условий для формирования отмеченного плаща ни за счёт поставки нужного материала талыми ледниковыми водами, ни за счёт выработки и отложения так называемой ледниковой муки, которая продуцируется в придонных слоях (где нет условий для погребения крупных блоков льда – об этом речь пойдёт ниже). Иными словами, создание требуемой теплозащиты [Фельдман, 1977] ни из тонкодисперсных отложений малой мощности, ни из крупнообломочной толщи в несколько метров, на ледниках Сибири нереально, что будет показано ниже.

Напомним: расположены современные ледниковые центры в горной местности, и они же были очагами крупного оледенения во времена криохронов.

Рельеф может быть подчинён оледенению (покровные ледники) или оно подчинено ему (долинные ледники), но на равнинах ледников нет – они лишь предполагаются (как и захоронение льда в их пределах) сторонниками соответствующих гипотез. Их верификация по методике [Гасанов, 1984] возможна путём использования эвристических процедур – объединения данных по не поддающимся наблюдению явлениям, что связано с рядом допущений, обусловленность которых субъективна и нередко противоречит конкретике. Но, опираясь собственно на факт продуцирования морен, сторонники ледникового генезиса пластовых льдов априори допускают их длительное погребение мореной и относят эти льды к реликтам ледников, применяя модель моренообразования, созданную умозрительно для равнин Европы (аналогов предполагаемым равнинным покровным ледникам нет в современности). Хотя многие исследователи существование ледниковых щитов к востоку от Урала отвергают, и в любом случае ледовый седиментогенез здесь имеет свои особенности – рассмотрим их.

*Потенциал погребения льда мореной приповерхностного мореносодержащего слоя.* Ледник работает как конвейер: на него сносится, и им же перемещается в краевую часть осыпной материал со склонов вмещающих форм рельефа и обтекаемых льдом

останцов-нунатаков. В итоге формируется содержащий морену приповерхностный слой льда, толщина которого и объем обломков в нем зависят от активности их поступления и степени впаивания в лёд. В условиях Сибири летом крупные обломки не успевают днём, компенсируя их охлаждение ночью, накопить тепло для впаивания в лёд: они будут или лежать на поверхности, или локально затенять её и предохранять от таяния на некоторое время, образуя ледниковые грибы (рис. 1, I). Относительно глубоко проникают в лёд обломки размерности среднего щебня: летом они успевают днём прогреться полностью и впитать тепло, достаточное для впаивания в лёд даже на холодных ледниках Сибири на первые дециметры. Но мелкозём впаивается в лёд плохо – каждая его частица вбирает мало тепла и быстро отдаёт его льду. Обычно это (рис. 1, II) разносимый тальными водами песок и мелкий гравий: залегая дисперсно и затемняя лёд, они усиливают таяние, а если скапливаются, образуя местами сплошное покрытие, то на определённом участке это также предохранит подстилающий лёд от активного таяния. Но источников материала и условий, чтобы сформировать плащ площадного типа, способный на геологически длительный срок законсервировать крупные блоки льда, на ледниках Сибири нет.



**Рис. 1. Различные варианты покрытия ледниковой поверхности обломочным материалом.**

**Ледник Азаровой, хребет Кодар. Июль, 2013 г.**

*I – ледниковый гриб, образованный в результате затенения и частичного предохранения льда от таяния под крупным обломком; II – остающийся на поверхности льда мелкозём; III – пылеватые эоловые отложения в фирновой области; IV – сплошное покрытие обломочным материалом краевой части ледника. Фото из архива автора*

**Fig. 1. Different modes of glacial surface covering by debris. Azarova's glacier, Kodar Range**

*I – glacial mushroom; II – small-grained debris remaining on the surface of ice; III – silty aeolian deposits in the firn area; IV – continuous glacial covering in the end part of the glacier. Photos from the author's archive*

Автором [Чувардинский, 2012] отмечено, что обломки с поверхности могут прошивать всю толщу ледника и даже питать донную морену. Однако проплавить холодный лёд на большую глубину обломки без поступления к ним дополнительного тепла не в состоянии. Они могут проникать только через отдельные трещины, но это явление локальное. А в области питания ледника, где имеет нисходящее движение льда, лёд в основном чистый. Здесь оседает преимущественно оловый мелкозём – обычно он отделяет тонкими слоями разные порции снега, особенно сезонного (рис. 1, III). Общую картину это принципиально не меняет – масса такого материала невелика, как и редких обломков со склонов, которые достигают центральной части фирновых полей, и, будучи затем погребёнными под слоями питающей ледник снежной массы, вовлекаются в нисходящее движение льда.

Больше обломков аккумулируется по периферии ледника – в виде боковой морены у склонов и, поскольку он работает как конвейер, в его краевой части, которая в случае стационарности ледника станет перегружаться обломками. Крупные обломки будут, накапливаясь, вымачивать поверхность, и такой её облик создаёт у наблюдателя ощущение, особенно на горных ледниках, что здесь их слой имеет большую мощность, хотя она невелика и в этом случае (рис. 1, IV) – в целом количество обломков в объёме приповерхностного, содержащего морену льда обычно не превышает 25% [Серебряный, Орлов, Соломина, 1989].

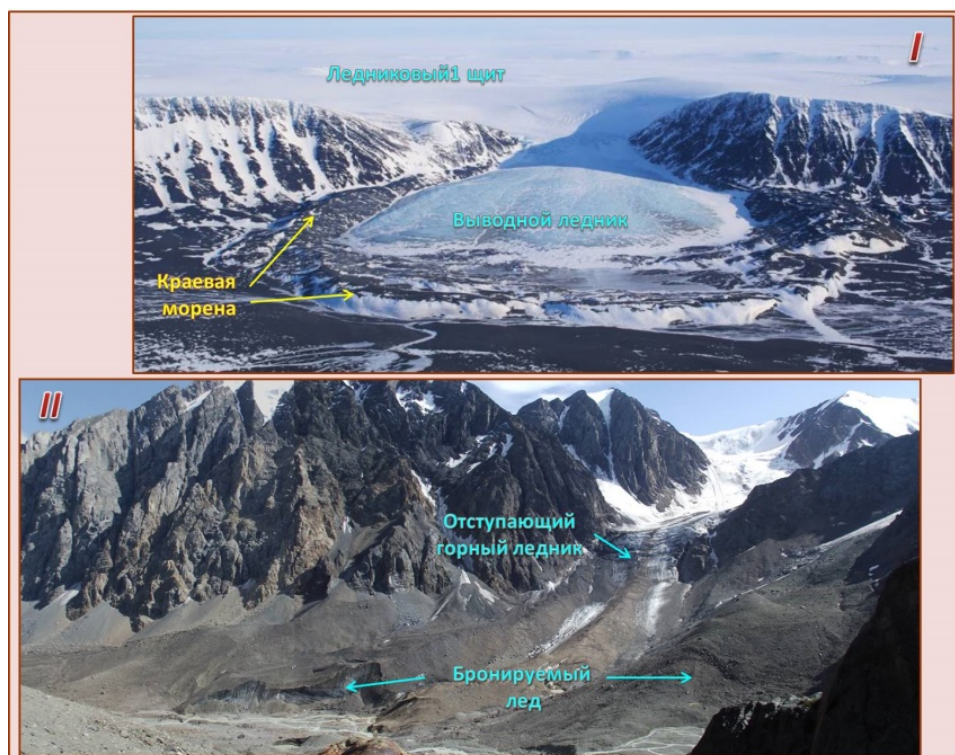
Поскольку в краевой части ледников, особенно горных (рис. 2, II), концентрация обломков на поверхности возрастает, они начинают облекать основное тело льдистой конечной морены, которое большей частью складывается аккумулируемым здесь материалом базальной морены [Серебряный, Орлов, Соломина, 1989]. Доля крупных обломков в её объёме в любом случае значительна, и так как сквозь них летом легко проникает тепло, она тоже будет активно протавить. Даже когда бронирование усиливается при отступании ледников, предохранит это лёд ненадолго. Оно охватит значительную часть области абляции, и содержащий обломки приповерхностный лёд станет преобразовываться, вместе с другим вытаявающим материалом, в абляционную морену. Её сторонники ледникового генезиса пластовых льдов считают главным фактором их захоронения, но, повторим, сквозь материал такой морены с тальми водами и воздухом летом легко проникает тепло, и при омертвлении льда его масса стабилизироваться, будучи невозобновляемой, не может и вытаявает. Таким образом, приповерхностный мореносодержащий лёд в условиях холодных ледников Сибири не является фактором длительной консервации лежащего под ним чистого льда.

Отметим также, что ситуации, когда рельеф подчинён оледенению и когда оно подчинено ему, будут существенно отличаться. В первом случае источни-

ком материала, поступающего к поверхности ледника, являются расположенные далеко друг от друга борта его долины и редкие, обтекаемые потоком льда останцы-нунатаки, от которых протягиваются обособленные полосы срединной морены. Кроме того, в краевой зоне по плоскостям внутренних сколов могут изредка подниматься [Евтеев, 1964] отдельные порции мореносодержащего льда, формирующегося в придонном слое ледника, но его мощность невелика, как не велика в данном случае в совокупности и питание морен (см. ниже). Так что внешне ледник в основном будет выглядеть чистым. Накапливается тогда, главным образом по периферии потока льда, выдавленная к бокам и перемещённая к его концу донная морена [Серебряный, Орлов, Соломина, 1989], что хорошо видно на рис. 2, I, на котором показан один из выводных ледников Новой Земли. Причём в этой морене тоже преобладает материал, не препятствующий прониканию сквозь него летнего тепла.

Намного больше обломков содержит абляционная морена на горных ледниках. Оледенение в этом случае подчинено рельефу, и для сравнения с предыдущей ситуацией на рис. 2, II показан ледник Большой Правый Актру, полностью находящийся в пределах криолитозоны крупный холодный ледник на Алтае. (Вблизи границы питания у ледников на подошве слоя нулевых теплооборотов лёд охлаждён до температуры  $\approx -14^{\circ}\text{C}$ , на языке ледника – до  $-4^{\circ}\text{C}$ , и со всех сторон они окружены мёрзлыми породами [Шейнкман, 2010; Шейнкман, Мельников, 2014].) Реагируя на текущее потепление климата и усиление абляции, ледник Большой Правый Актру отступает, его языковая часть мертвеет (рис. 2, II) и бронирована уже почти полностью. Поступает обломочного материала много: в отличие от покровных ледников его источник – большая поверхность склонов, поднимающихся над ледовым телом и активно подвергающихся в условиях криолитозоны выветриванию; способствуют перемещению обломков на ледник и активные коллювиальные процессы, обусловленные тектоникой. Значительную часть ледника покрывают и срединная морена, образующаяся при соединении у составляющих ледник потоков льда их боковых морен. Но даже при такой обеспеченности материалом чехол морены ненадолго задерживает вытаявание льда, что было подтверждено рядом надёжных свидетельств. В середине XX в. ледник Большой Правый Актру ещё соединялся с ледником Большой Левый Актру, спускающимся из соседней долины, а в конце XIX в. и с другими ледниками в верховьях долины Актру. Но, несмотря на расположение в области глубокого промерзания горных пород, ныне ледники разделяет пространство в несколько километров – ледниковый лёд на нем вытаял из-под морены, по свидетельству очевидцев, уже за первые десятилетия [Тронов, 1949], и сегодня в толще морены здесь фиксируются только текстуры, отражающие её последующее промерзание.





**Рис. 2. Различный характер покрытия мореной покровных и горных ледников**

*I* – один из выводных ледников Новой Земли (фото из <http://club.berkovich-zametki.com/wp-content/uploads/2014/06/Astronomicheskii-glacier-Inostrantseva-Gulf-Novaya-Zemlya.jpg>); *II* – ледник Большой Правый Актру, Северо-Чуйский хребет. Алтай; июль 2011 г. (фото из архива автора)

**Fig. 2. Different character of moraine covering at ice sheets and at mountain glaciers**

*I* – one of Novaya Zemlya's outlet glaciers (photo from the archive of <http://club.berkovich-zametki.com/wp-content/uploads/2014/06/Astronomicheskii-glacier-Inostrantseva-Gulf-Novaya-Zemlya.jpg>); *II* – Bol'shoi Praviy Aktru Glacier, North Chuiyskiy Range. Altai; July, 2011 (photos from author's archive)

Ещё характерный пример – долина Чаган-Узун, расположенная в условиях с более сильным промерзанием горных пород и с одним из крупнейших ледников Алтая в её верховьях – Софийским (рис. 3), где наблюдения автором ведутся уже много лет. Рассмотрим их (включая данные за последние десятилетия и результаты реконструкции положения морен малой ледниковой эпохи), подчеркнув следующее. Во-первых, долина Чаган-Узун расположена в зоне Алтайского минимума температур воздуха ( $-62^{\circ}\text{C}$ ), по глубине уступающего только Забайкальскому ( $-64^{\circ}\text{C}$ ) и Верхоянскому ( $-67,8^{\circ}\text{C}$ ) минимумам. Во-вторых, для сравнения ситуаций есть данные наблюдений, полученные здесь в конце XIX в. В.В. Сапожниковым [Сапожников, 1901; Сапожников, 1912]. В-третьих, в 2003 г. в долине произошло сильное землетрясение интенсивностью около 9 баллов, по следам которого автору сразу удалось провести наблюдения, и в зоне свежих деформаций можно было отслеживать прежде скрытое строение мёрзлых толщ.

Ситуация у ледника Софийского на 1985 г., когда автор начал проводить наблюдения в данной долине,

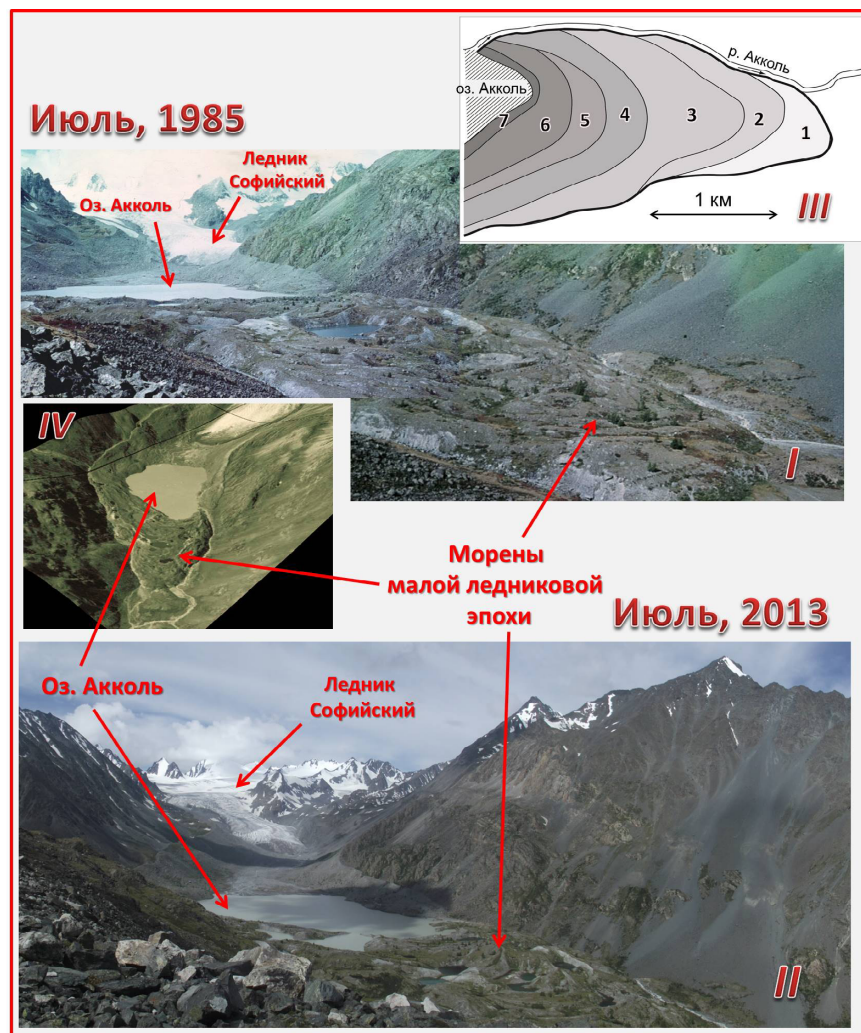
отображена на рис. 3, *I*, а недавняя ситуация (на 2013 г.) – на рис. 3, *II*. Как видим, практически в отношении морен малой ледниковой эпохи она не отличается, так как погребённый ледниковый лёд здесь давно вытаял. На рис. 3, *III* для наглядности также представлена схема развития ледника в малую ледниковую эпоху, привязанная к реперным данным В.В. Сапожникова [1901, 1912], а на рис. 3, *IV* – трёхмерная модель долины. Согласно [Сапожников, 1901; Сапожников, 1912] в 1898 г. от нижнего края оз. Акколь до ледника было 150 м, и в 1911 г. ледник ещё упирался в верхний край озера, ниже которого виднелись из-под морены блоки ледникового льда. Но менее чем через столетия расстояние от ледника до озера, как было установлено преемниками В.В. Сапожникова, составляло более 1 км, причём весь погребённый лёд ниже озера к тому времени вытаял [Тронов, 1949].

В дополнение рассмотрим ситуацию в долине Чаган-Узун после землетрясения 2003 г. в пределах залегания различных морен мёрзлые толщи, вскрытые трещинами и сбросово-оползевыми деформациями, выделялись темной и влажной оттаиваемой

поверхностью, но погребённых льдов нигде не было обнаружено (рис. 4, I, II). Помимо льда-цемента встречались малоомощные инъекционные льды (рис. 4, III), но они обычны для данной долины, хотя фиксировались чаще, чем в прежние годы, так как блоковая тектоника порождала перераспределение потоков подземных вод и их внедрение в толщу пород в новых местах.

*Потенциал погребения льда мореной придонного мореносодержащего слоя. Воздействие ледников на их ложе является другим элементом моренообразования. Часто, когда говорят о мореносодержащем*

льде, как раз имеют в виду слои с основной мореной. В Сибири о таком льде говорить нужно скорее как о высокольдистой мёрзлой толще («ледниковой мерзлоте» по [Hughes, 1973]) – важном элементе седиментогенеза на ледниках [Лаврушин, 1976], но мощность и объём базальной морены, как выясняется сегодня, невелики; об этом свидетельствуют и опыт работы автора на разных ледниках, и проведённый им анализ литературы. К тому же сегодня строение многих ледников вскрыто бурением, что уже определило переосмысление многих процессов моренообразования.



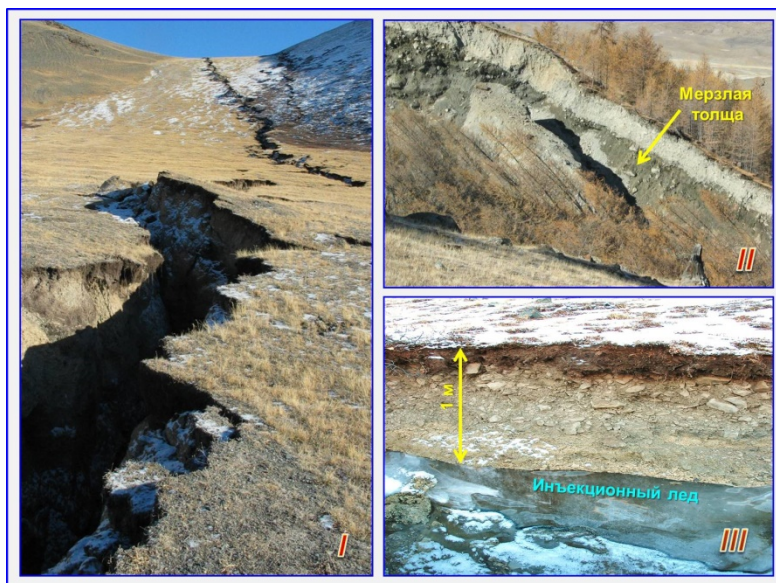
**Рис. 3. Ледник Софийский и моренный комплекс малой ледниковой эпохи вблизи него, Южно-Чуйский хребет, Алтай**

I – ситуация на июль 1985 г.; II – ситуация на июль 2013 г.; III – совместная с Ю.В. Паржаюком реконструкция разных положений ледника по данным геоморфологической и лишенометрической съёмки: 1 – начало XVII в.; 2 – середина XVII в.; 3 – конец XVII – начало XVIII в.; 4 – середина XVIII в.; 5 – конец XVIII – начало XIX в.; 6 – середина XIX в.; 7 – конец XIX в.; IV – трёхмерная модель долины на основе системы Google map. Фото из архива автора

**Fig. 3. Sofiyskiy Glacier and the Little Ice Age moraine complex near it, South Chui Range, Altai**

I – situation at a point of July 1985; II – situation at a point of July 2013; III – jointly with Y.V. Papzhayuk reconstruction of different state of the glacier by data of geomorphological and lichenometric survey: 1 – beginning of XVII century; 2 – middle of XVII cent.; 3 – end of XVII century – beginning of XVIII century; 4 – middle of XVIII century; 5 – end of XVIII century – beginning of XXI century; 6 – middle of XIX century; 7 – end of XIX century; IV – a three-dimensional model of the valley at a base of the Google map system. Photos from author's archive





**Рис. 4. Следствие тектонических деформаций горных пород в результате землетрясения 2003 г. в верховьях долины р. Чаган-Узун, Южно-Чуйский хребет, Алтай**

Пояснения в тексте. Фото из архива автора

**Fig. 4. Consequence of tectonic deformations in rocks as a result of the earthquake in 2013 in the upper reaches of the Chagan-Uzun Valley, South Chuiskiy Range, Altai**

Explanations in the text. Photos from the author's archive

Долгое время считалось, что в основании ледниковых щитов содержащий морену слой льда имеет большую, сопоставимую с мощностью всего ледника толщину и в нем много обломочного материала. Но сегодня выяснено, что такие оценки завышены: это связано со стереотипом восприятия ледников по внешнему облику их краевой зоны: она в первую очередь предстаёт взгляду, нередко перегружена мореной (см. рис. 2), и таковыми ледники обычно запоминаются. В Антарктиде уже при изучении по программе МГГ геологической деятельности ледников заметная толща придонного мореносодержащего льда с обломками разной размерности (включая отдельные 1,5-метровые валуны) зафиксирована была только у края выводных ледников, причём его мощность (30–40 м) относительно толщины ледников была несопоставимо мала [Евтеев, 1964]. При рассредоточении материала во льду в местах соединения потоков льда иногда наблюдались слои с обломками мощностью до 100–150 м, но представлены обломки были тогда преимущественно дисперсно распределённым мелкозёмом. Характерно, что доля обломков в содержащем морену льду только у самого днища ледникового щита доходила до 25%, а в целом она составляла менее 2%, т.е. содержание в таком льду обломков невелико. Вытаяв, они распределяются в виде базальной морены около 70 см толщиной, лишь в отдельных местах несколько увеличивающей мощность до 1–3 м [Евтеев, 1964]. Позднее лёд Антарктиды был пройден серией сква-

жин, и как в отдалении от краевой части выводных ледников, так и на шельфе керны практически по всей толще льда были чистые [Gow, Epstein, Sheehy, 1979; Tulaczuk et al., 1998; Engelhard et al., 1990; Dowdeswell et al., 2004; Талалай, 2011; Talalay, 2013], только у самого ложа фиксировались малой мощности (первые метры) слои льда с включением мелкозёма. Причём в нём миллиметрами измерялись лишь отдельные частицы. Иными словами, мореносодержащего льда с включением заметной доли обломочного материала, тем более крупного, за пределами краевой зоны выводных ледников не обнаружено.

Аналогичная картина наблюдается на ледниковых щитах Арктики, многие из которых тоже пройдены бурением. Чтобы не перегружать текст перечислением данных, сошлёмся на не так давно опубликованные обзоры [Большаинов, 2006; Талалай, 2011; Чувардинский, 2012; Talalay, 2013] и для примера рассмотрим свежие материалы по керну 3054-м скважины GISP-2, прошедшей весь ледниковый щит Гренландии [Bierman et al., 2014]. Лишь у ложа ледника она зафиксировала слой льда с мелкими валунами около полуметра толщиной, выше которого располагался 13-метровый слой с рассеянными алевритовыми частицами. Весь остальной лёд был чистым. (Причём придонный лёд имел возраст около четверти миллиона лет и, будучи охлаждён до  $-9^{\circ}\text{C}$ , был приморожен к ложу.) Более значительной мощности базальный мореносодержащий лёд отмечен в Арктике также лишь в краевой части ледников, куда пе-

ремещается влекомый ими материал. Например, описана его 35–40-метровая толща на ледниках Шпицбергена [Гляциология Шпицбергена, 1985], причём отмечено, что даже из такой толщи может образоваться лишь 5–7-метровый слой грубой морены.

Ледники Шпицбергена ещё находятся под влиянием Атлантики и единственные в островной Арктике лежат на не мёрзлом ложе, хотя у поверхности они холодные. Согласно теории ледники на теплом основании должны воздействовать на него намного активнее, чем примороженные к нему [Шумский, Красс, 1983; Патерсон, 1984; Boulton, 1996]. Однако исследования на различных тёплых и двуслойных ледниках показали [Серебряный и др., 1984; Гляциология Шпицбергена, 1985; Серебряный, Орлов, Соломина, 1989], что в объёме моренообразования существенных отличий у них от холодных ледников не прослеживается.

Лучше мореносодержащий лёд у ложа, как и в случае приповерхностного слоя, выражен на горных ледниках. В отличие от оледенения с караваеобразными ледовыми телами, с подчинённым ему рельефом, когда потоки льда растекаются от центра к периферии и в основном воздействуют на своё днище, горные ледники текут линейно и активно обрабатывают, в режиме подпруживания вмещаемыми долинами, не только основное ложе, но и его боковые, прибортовые части. Однако даже на крупнейших из них мощность придонного мореносодержащего льда обычно измеряется первыми метрами [Лаврушин, 1976; Серебряный и др., 1984; Серебряный, Орлов, Соломина, 1989]; объем обломков в нем составляет около 25%, в основном они продуцируются в зоне экзарации ледника и затем распределяются вдоль ложа языковой части. Некоторая доля обломков выдавливается потоком льда с днища к бортам, и максимально накопление морены естественно фиксируется в краевой части ледника, куда все транспортируется.

Так или иначе, сегодня имеются значимые результаты специальных исследований по изучению проводимой ледниками геологической работы (выполненных наиболее тщательно научной группой Л.Р. Серебряного [Серебряный и др., 1984; Серебряный, Орлов, Соломина, 1989]), и они убедительно показывают: обломочного материала в придонной части ледников продуцируется в целом немного. Он сносится в основном из зоны экзарации, распределяется тонким слоем вдоль ложа, и в любом случае под слоем мореносодержащего льда нет мощных блоков из чистого льда. У основания ледника, по сути, находится маломощная высокольдистая толща мёрзлых осадочных пород, составляющая его придонные слои, и ни о каком потенциальном захоронении здесь на долгое время мощных пластов чистого льда речи идти не может.

Не меняет принципиально, как было отмечено выше, картину данного плана и определённое увеличение доли обломков в моренах в краевой части ледника. Тем не менее сторонники ледникового происхождения пластовых льдов обычно отмечают, что в приведённых случаях речь идёт о ледниках, текущих по прочному скальному ложу, тогда как они рассматривают ситуацию, когда ледник растекается по равнине. На их взгляд, осадочные породы, выстилающие равнины, легко абсорбируются потоком льда и могут затем пойти на формирование плаща отложений, консервирующих ледник. Но это умозрительные построения.

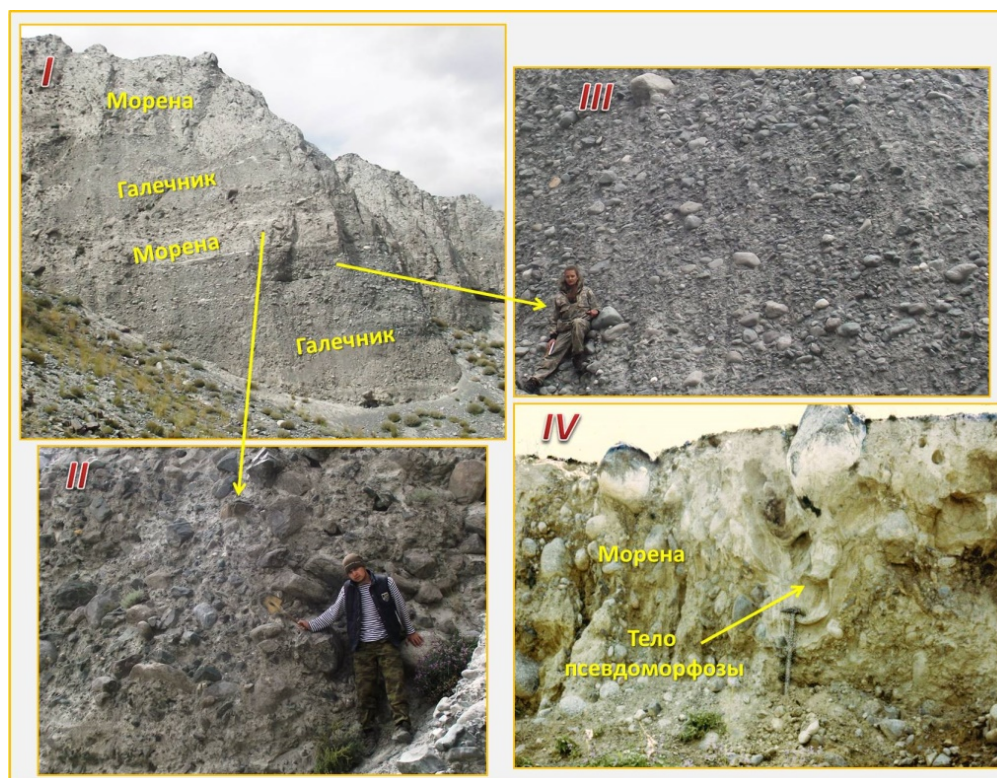
С одной стороны, раскрытые в Сибири закономерности формирования гляциальных образований не позволяют ледникам существовать вне горноледниковых центров и быть крупнее долинных образований [Шейнкман, Мельников, 2014], а с другой – все современные ледники лежат на мёрзлом основании и таковыми, соответственно, они должны были быть в криохроны квартера [Шейнкман, 2010; Sheinkman, 2011; Talalay, 2013; Шейнкман, Мельников, 2014]. Сцементированные льдом мёрзлые осадки очень прочные, и в случае движения по ним льда его воздействие отличаться от ситуации на коренном ложе будет мало. Основные модели воздействия льда на его ложе тоже показывают, что в случае его холодного состояния сцепление мореносодержащего слоя с ним велико, и значимые сдвиговые деформации будут иметь место в лежащих выше слоях ледника [Шумский, Красс, 1983; Патерсон, 1984; Boulton, 1996]. Так что на ложе холодных ледников в основном будут протекать процессы его истирания и отламывания от него отдельных выступающих частей (что легче всего сделать потоку льда на участках выхода трещиноватых пород). Вместе с тем, в сравнении с такими ледниками, существенного повышения активности моренообразования не прослеживается и на ложе ледников с тёплым основанием [Серебряный и др., 1984; Серебряный, Орлов, Соломина, 1989].

Связано с процессом истирания пород у ложа, на наш взгляд, и образование валунных суглинков, обычно идентифицируемых как главный признак ледниковых отложений. Наблюдения автора на различных ледниках показали, что эта особая уплотнённая порода образуется в основном на конечной стадии формирования донной морены, перемещаемой в краевую часть ледника. Межвалунные полости, возникающие при таянии мёртвого льда, тогда заносятся мелкозёмом, представленным в немалой степени ледниковой мукой – продуктом истирания ледником ложа или перетирания движимых по нему обломков пород. Много этого продукта выносятся тальными водами, придавая белёсый цвет текущим изпод ледников водотокам, но значительная его часть

оседает при фильтрации талых вод через отлагаемую морену, и в краевой части ледников, где отфильтровывается больше частиц, накопление такого осадка идёт активней.

В зависимости от размеров ледника и длительности его стационарного стояния мощность образующих валунных отложений с тонкодисперсным заполнителем может достигать нескольких (порой и больше) метров. При циклическом развитии оледенения и наложении осадочных комплексов друг на друга они формируют сложно построенные тела из морен разных генераций [Серебряный, Орлов, Соломина, 1989; Мельников и др., 2013], которые в разрезах представлены характерными горизонтами, как, например, в разрезах среднего течения долины Чаган-Узун в 30 км ниже Софийского ледника (рис. 5, I). Здесь хорошо видно, что в такой морене валуны как бы взвешены в толще тонкого мелкозёма, образуя, по сути, атакситовую текстуру осадка (рис. 5, II). Это кардинально отличает данный тип отложений от обычно чередующихся с ними, промытых и сортированных, с черепитчатым залеганием обломков, слоистых ледниково-речных (обыч-

но – гравийно-галечных) осадков – самый тонкий мелкозём в заполнителе у них вымыт активно тёкшими водотоками (рис. 5, III). Будучи уплотнённой породой, моренные валунные суглинки могли бы экранировать приходящее сверху тепло. Но формируются они в основном в процессе и после оттаивания базальной морены на конечной стадии её развития в краевой части ледника – из маломощного содержащего морену льда, и только при достаточной выработке ледниковой муки. Причём идёт этот процесс в тех слоях, где практически нет чистого льда, когда накладывающийся сверху грубообломочный материал абляционной морены не мешает поступлению сквозь него тепла. Так как подобные суглинки – порода плотная, в последующем, при соответствующей силе её промерзания, она способна разбиваться полигонально-жильными льдами. На Алтае, находящемся на юге Западной Сибири, их следов нет (промерзание там не было достаточным), но восточнее – в Западной Туве, где холоднее, сеть псевдоморфоз по таким льдам (рис. 5, IV) неплохо прослеживается в толщах морен криохрона МИС-2 [Шейнкман, 2010; Sheink-man, 2011].



**Рис. 5. Строение и характер различных основных морен**

Пояснения в тексте. I–III – чередующиеся отложения основной морены и ледниково-речных осадков в разрезах среднего течения долины Чаган-Узун, Южно-Чуйский хребет, Алтай; IV – основная морена с псевдоморфозами по полигонально-жильному льду в долине р. Хемчик, Западная Тува, верховья р. Енисей. Фото из архива автора

**Fig. 5. The structure and nature of the various major moraines**

Explanations in the text. I–III – alternating basal till and glacial-river deposits in the sections of middle reaches of the Chagan-Uzun Valley, South Chuiskiy Range, Altai; IV – a basal moraine with pseudomorphs after polygonal wedge ice in the Khemchik Valley, Western Tuva, upper reaches of the Yenisei River. Photos from author's archive

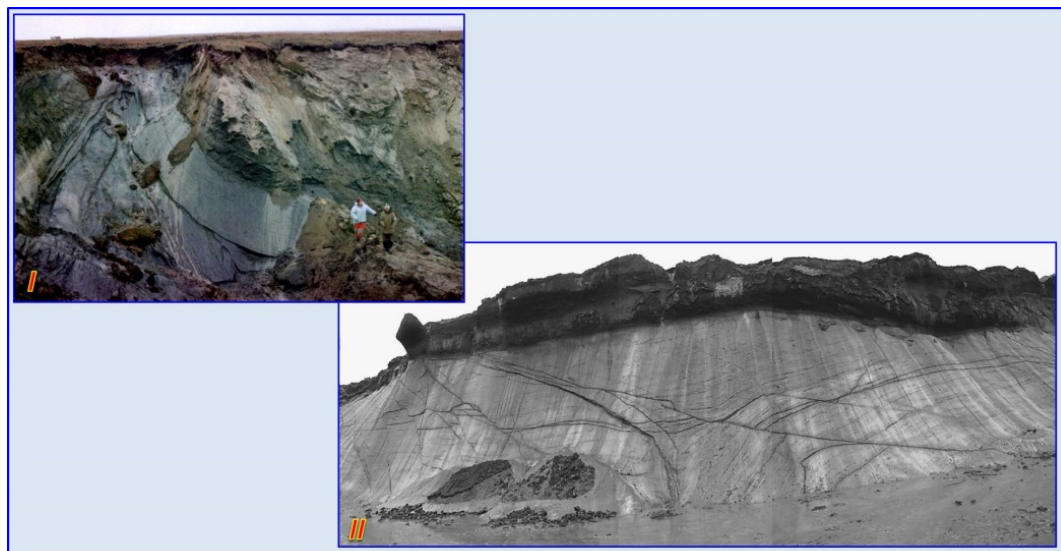


Верификация отнесения собственно пластовых льдов к соответствующему их типу. Рассмотрим теперь непосредственно пластовые залежи льда, и для примера вновь обратимся к данным сторонника гипотезы ледникового происхождения этих льдов В.И. Соломатина. В презентации [Соломатин, Белова, 2012] им показаны залежи льда в Западном и Восточном секторе Российской Арктики, и наличие дислокаций в них отнесено к признакам ледникового генезиса, на его взгляд, объяснить их внутригрунтовое происхождение нельзя. Отдавая должное заслугам В.И. Соломатина в изучении вопросов подземного льдообразования, следует сказать, что он нередко замыкается в рамках своей гипотезы. В [Кузнецова, Карпов, 1989, с. 88], например, отмечалось: «Главным доказательством глетчерной природы льда у В.И. Соломатина является сам лёд – на нем сконцентрировано основное внимание автора. В то же время В.И. Соломатин не делает попытки с той же степенью детальности проанализировать перекрывающую толщу, условия её накопления».

Представленные в [Соломатин, Белова, 2012] залежи льда показаны на рис. 6. Однако отнести в прибрежной Арктике отображённые на рис. 6 тонкодисперсные, покрывающие и консервирующие залежь породы к продукту деятельности ледника, в свете изложенного выше, неправомерно. Хотя бы потому, что на ледниках Сибири нет механизма, способного обеспечить формирование такого покрова. Тем более что многими исследователями убедительно обосновано морское или аллювиальное происхождение отмеченных осадков [Корейша, Химен-

ков, Брыксина, 1981; Васильчук, 1982; Дубиков, 2002; Васильчук, Васильчук, 2010; Стрелецкая и др., 2012]. Что касается дислокаций льда в теле залежей, причины их могут быть разными, однако вывод сторонниками ледниковой гипотезы, как точно подмечено в [Большаинов, 2013, с. 238], обычно делается по схеме: «Есть дислокации, значит, они гляцио-тектонические. И больше для доказательства оледенения покровного типа ничего не требуется». Такая схема, конечно, не выдерживает критики.

Не будем повторять детали анализа [Васильев, 1982], добавим только, что в упомянутой презентации как доказательство ледникового генезиса залежей представлена крупным планом дислокация льда, отображённая на рис. 7, I. Но она не характерна для потока льда. Небольшие, без крупных разрывных нарушений, зигзагообразные дислокации пород это атрибут их очень медленного (миллиметры, редко – первые сантиметры в год) смещения, как в случае на рис. 7, II, где отображена обстановка в районе Мёртвого моря. Подобные дислокации в тектонически активных районах свойственны многим пластичным породам при их вертикальных и горизонтальных смещениях, что мы видим, в частности, в случае карбонатных меловых пород на рис. 7, II. Однако когда происходят быстрые смещения таких пород, в них будут иметь место разрывные нарушения (рис. 7, III). То же самое на ледниках: скорость даже самых медленно текущих холодных горных ледников составляет несколько метров в год, и для них характерны смещения льда гораздо больше, чем на рис. 7, I, и с разрывными деформациями.



**Рис. 6. Залежи пластового льда**

I – на Карском побережье Байдарцкая губа; II – на побережье Новосибирских островов [Соломатин, Белова, 2012]

**Fig. 6. Bedding ice bodies**

I – at the Kara sea coast; II – at the coast of New Siberian Islands. Photos from the V.I. Solomatina's presentation [Solomatina, Belova, 2012]





**Рис. 7. Медленное горизонтальное зигзагообразное одноразовое смещение в толще залежи льда**

*I* – признак течения ледника, обозначенного в [Соломатин, Белова, 2012]; *II* – аналогичное смещение блоков монолитных мелевых карбонатных пород; *III* – их вертикальное смещение в бассейне Мёртвого моря. Фото из архива автора

**Fig. 7. Slow one-time horizontal zigzagging displacement in the body of bedding ice**

*I* – wrongly accepted in [Solomatin, Belova, 2012] as an indication of a glacial stream; *II* – analogous displacement of blocks of monolith Cretaceous carbonate rock; *III* – their vertical shifts in the Dead Sea basin. Photos from author's archive

Однако сторонники ледникового генезиса пластовых льдов относят к деформациям гляциального происхождения и встречающиеся, порой, в их толще крутоизогнутые слои. Но лёд хоть и вязкопластическая порода, порог пластичности ее при отмеченных скоростях течения льда не позволит изгибаться ему в крутоизогнутые формы, тем более на холодных ледниках – им более свойственны разрывные нарушения. Характерный пример – встречающиеся на всех ледниках и раскалывающие всю толщу льда различные трещины на участках обтекания потоком льда подлёдных ригелей.

Причины изогнутости слоёв в толще пластовых залежей льда, следовательно, нужно искать в воздействии медленно протекающих процессов деформирования льда и мёрзлых толщ – они характерны при длительном, многовековом промерзании горных пород. Этим вопросам посвящена обширная литература, и хотя многие из них пока не раскрыты, путь их решения лежит в этом направлении. Отметим также, что ряд химических и физических характеристик залежей льда могут трактовать в свою пользу и противники, и сторонники их внутригрунтового происхождения. Но первые из них обычно обходят вопрос о не характерных для льда ледников свойствах таких залежей; например присущее многим пластовым льдам на Севере Сибири высокое содержание бора, свойственное морским льдам [Дубиков,

2002], или обнаруженный в них принципиально иной, чем у льда ледников, набор палинологических спектров [Васильчук, Васильчук, 2010]. На фоне закономерностей, фиксирующих отсутствие возможностей для распространения ледников (и тем более формирования ледниковых покровов) вне горных сооружений Сибири [Sheinkman, 2011, 2016], такие факты говорят сами за себя.

### Закключение

Криоразнообразие на всем протяжении квартала в Сибири было представлено тесно взаимодействующими ледниками и мерзлотными образованиями разного генезиса; здесь уже реально ставить исследования на основе вскрытия закономерностей развития современных криогенных геосистем и проводить затем уверенную экстраполяцию данных для получения характеристик объектов, не наблюдаемых ныне. Учитывая, что любая прогностика окружающей среды основывается на построении трендов, исходя из выявленных сценариев прошлого, анализ состояния криоразнообразия как индикатора природной среды позволяет выявлять ее тренды, детализируя события.

В целом проблема развития природных льдов в специфических условиях Сибири весьма многогранна, так как на окружающую среду в данном случае воздействует система криогенных элементов, тесно свя-

занных друг с другом и процессом формирования, и историей своего развития. В результате все компоненты криоразнообразия оказываются объединёнными в единую геосистему, которая функционирует, используя различные трансформации ледовой массы. Каждый из элементов криоразнообразия в рамках такой геосистемы формируется при строго определённых законах ее организации параметрах, поэтому, на перекрестии таких характеристик выявляются весьма информативные показатели окружающей среды. Именно с таких позиций ясно просматривается, что в квартере ледники Сибири формировались как представители горного, а не покровного оледенения, и при бронировании мореной не могли быть захоронены на длительное время, несмотря на их приуроченность к области криолитозоны.

Так или иначе, по всем направлениям проверки гипотезы, проведённой автором согласно методике [Гасанов, 1984], вопрос об отнесении к реликтам покровных ледников пластовых залежей подземного льда отклоняется. С одной стороны, не могут быть приняты в данном случае допущения о реальности захоронения и длительной сохранности льда ледников в Сибири, а с другой – условий для развития материкового оледенения в регионе, как показали проведённые автором исследования, нет.

*Работа выполнена при поддержке программы РАН – ОНЗ-12, интеграционного проекта СО РАН № 144, также партнёрских проектов ИКЗ СО РАН – Тюменский госуниверситет ГУ и ИКЗ СО РАН – Тюменский индустриальный университет.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Архипов С.А.** Главные геологические события позднего плейстоцена (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 6. С. 792–799.
- Баулин В.В., Дубиков Г.И.** Пластовые залежи подземного льда // Труды ПНИИИС. 1970. Т. II. С. 175–193.
- Берг Л.С.** Основы климатологии. Л. : Учпедгиз, 1938. 456 с.
- Большакиев Д.Ю.** Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб. : ААНИИ, 2006. 296 с.
- Большакиев Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.** Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб. : ААНИИ, 2013. 266 с.
- Васильев И.С.** Закономерности сезонного протаивания грунтов в Восточной Якутии. Новосибирск : Наука, 1982. 136 с.
- Васильчук Ю.К.** Гомогенные и гетерогенные пластовые ледяные залежи в многолетнемерзлых породах // Криосфера Земли. 2011. Т. XV, № 1. С. 40–51.
- Васильчук А.К., Васильчук Ю.К.** Палинологическая индикация неглетчерного происхождения пластовых льдов // Инженерная геология. 2010. № 1. С. 24–38.
- Воейков А.И.** Климатические условия ледниковых явлений, настоящих и прошедших // Записки Минералогического Общества. 1881. Сер. 2. Ч. 16. С. 21–90.
- Воллосович К.А.** Доклад о геологическом строении Новосибирских островов и Земли Беннета, а также о связи их тектоники с данными, имеющимися по части геологического строения северной части Сибирского материка // Записки Минералогического общества. 1905. Сер. II. Ч. 43, вып. 2. С. 84–87.
- Втюрин Б.И.** Подземные льды СССР. М. : Наука, 1975. 215 с.
- Втюрин Б.И.** Залежеобразующие подземные льды в низовьях Енисея // Труды ПНИИИС. 1972. Т. XVIII. С. 175–182.
- Гасанов Ш.Ш.** Синтез криолитологического знания. М. : Наука, 1984. 88 с.
- Гасанов Ш.Ш.** Строение и история формирования мерзлых пород Восточной Чукотки. М. : Наука, 1969. 167 с.
- Геокриологический словарь** / ред. В.В. Баулин, В.Э. Мурзаева. М. : ГЕОС, 2003. 140 с.
- Гляциология Шпицбергена** / ред. С.А. Житникова. М. : Наука, 1985. 200 с.
- Григорьев А.А.** Об оледенении Якутии в четвертичный период // Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. 1932. Вып. 1. С. 31–42.
- Гросвальд М.Г.** Арктика в последний ледниковый максимум и в голоцене – океанские выбросы, материковые и морские льды, их движение и связь с климатом // Материалы гляциологических исследований. 2004. № 96. С. 47–54.
- Груза В.В., Романовский С.И.** Принцип актуализма и логика познания геологического прошлого // Известия АН СССР Серия геол. 1974. № 2. С. 125–134.
- Гусев Е.А., Костин Д.А., Маркина Н.В., Рекант П.В., Шарин В.В., Доречкина Д.Е., Зархидзе Д.В.** Проблемы картирования и генетической интерпретации четвертичных отложений арктического шельфа России (по материалам ГТК41000/3) // Региональная геология и металлогения. 2012. № 50. С. 5–14.
- Дубиков Г.И.** Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М. : ГЕОС, 2002. 248 с.
- Дубиков Г.И., Корейша М.М.** Ископаемые инъекционные льды на полуострове Ямал // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1964. № 5. С. 58–65.
- Евтеев С.А.** Геологическая деятельность ледникового покрова Восточной Антарктиды. М. : Наука, 1964. 120 с.
- Жарков В.А., Зиновьев Е.В., Трофимова С.С.** О первой находке ARACITES INTERGLACIALIS WIELICZK в бассейне Печоры // Уральский геологический журнал. 2015. № 5 (107). С. 13–40.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д.** Гляциальная геология. СПб. : Недра, 1993. 328 с.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д.** Реликтовые глетчерные льды на севере Западной Сибири и их роль в строении районов плейстоценового оледенения криолитозоны // Доклады Академии наук СССР. 1976. Т. 231, № 5. С. 1185–1187.
- Карпов Е.Г.** Подземные льды Енисейского Севера. Новосибирск : Наука, 1986. 134 с.

- Карпов Е.Г., Григорьев Н.Ф.** Мощная пластовая залежь подземного льда на Енисее у широты Полярного круга // Мерзлотные исследования. М. : Изд-во МГУ, 1978. Вып. XVIII. С. 149–156.
- Колосов Д.М.** Проблемы древнего оледенения Северо-Востока СССР. М. ; Л. : Изд-во Главсевморпути, 1947. 175 с.
- Корейша М.М.** Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 170 с.
- Корейша М.М., Хименков А.Н., Брыксина Г.С.** О происхождении пластовых залежей подземного льда на севере Западной Сибири // МГИ. 1981. № 41. С. 62–66.
- Коцебу О.Е.** Путешествия вокруг света. М. : Дрофа, 2011. 966 с.
- Крицук Л.Н.** Подземные льды Западной Сибири. М. : Научный мир, 2010. 352 с.
- Кузин И.Л.** Геоморфология Западно-Сибирской равнины. СПб. : Изд-во Гос. полярной академии, 2005. 176 с.
- Кузнецова Т.П., Карпов Е.Г.** Условия формирования ледоминального комплекса Ледяной горы. Якутск : ИМ СО АН СССР, 1989. 172 с.
- Лаврушин Ю.А.** Строение и формирование морен материковых оледенений. М. : Наука, 1976. 237 с.
- Лопатин И.А.** Некоторые сведения о ледяных слоях в Восточной Сибири // Приложение № 1 к XXIX тому Записок Императорской Академии Наук. СПб., 1876. С. 3–32.
- Мельников В.П.** К созданию цельного образа криосферы // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 4. С. 3–12.
- Мельников В.П., Спектор В.Б., Шейнкман В.С., Федоров А.Н., Галанин А.А., Спектор В.В., Пушкарь В.С., Кадота Т.** Экспериментальное исследование изотопного состава ледников хребта Сунтар-Хаята // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII, № 4. С. 63–73.
- Обручев В.А.** Признаки ледникового периода в Северной и Центральной Азии // Избранные работы по географии Азии. М. : Географгиз, 1951. Т. 3. С. 49–128.
- Патерсон У.С.Б.** Физика ледников. М. : Мир, 1984. 473 с.
- Пидопличко И.Г.** О ледниковом периоде. Киев : Изд-во АН УССР, 1946. Вып. 1. 171 с.
- Пластовые льды криолитозоны** / под ред. А.И. Попов. Якутск : ИМ СО РАН, 1982. 140 с.
- Попов А.П.** Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М. : Изд-во МГУ, 1967. 304 с.
- Романовский Н.Н.** Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск : Наука, 1977. 215 с.
- Сапожников В.В.** Катунь и ее истоки. Путешествия 1897–1899 годов. Томск : Паровая типо-литография П.И. Макушина, 1901. 271 с.
- Сапожников В.В.** Пути по русскому Алтаю. Томск : Типо-литография Сибирского товарищества печатного дела, 1912. 169 с.
- Серебряный Л.Р., Орлов А.В., Соломина О.Н.** Морены – источник гляциологической информации. М. : Наука, 1989. 236 с.
- Серебряный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В., Малясова Е.С., Ильвес Э.О. и др.** Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М. : Наука, 1984. 216 с.
- Соломатин В.И.** Физика и география подземного оледенения. Новосибирск : Гео, 2013. 346 с.
- Соломатин В.И.** Ископаемые реликты ледникового льда на севере Западной Сибири // МГИ. 1977. Вып. 29. С. 233–240.
- Стрелецкая И.Д., Гусев Е.А., Васильев А.А., Рекант П.В., Арсланов Х.А.** Подземные льды в четвертичных отложениях побережья Карского моря как отражение палеогеографических условий конца неоплейстоцена – голоцена // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2012. № 72. С. 28–59.
- Сумгин М.И.** Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. Владивосток : Дальневосточная геофизическая обсерватория, 1927. 369 с.
- Сумгин М.И., Качурин С.П., Толстихин Н.И., Тумель В.Ф.** Общее мерзловедение. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1940. 336 с.
- Талалай П.Г.** Самый древний лед Антарктиды: поиски и решения // Природа. 2011. № 4. С. 19–25.
- Толль Э.В.** Ископаемые ледники Новосибирских островов, их отношение к трупам мамонтов и к ледниковому периоду // Записки Императорского Русского Географического общества. 1897. Т. XXXII, № 1. С. 130–152.
- Тронов М.В.** Очерки оледенения Алтая. М. : Гос. изд-во геогр. лит., 1949. 376 с.
- Фельдман Г.М.** Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. Новосибирск : Наука, 1977. 190 с.
- Фигурин А.Е.** Извлечение из записок медико-хирурга Фигурина, веденных во время описи берегов Северо-Восточной Сибири // Записки Российского Адмиралтейства. СПб., 1825. Т. V. С. 259–328.
- Черский И.Д.** К вопросу о следах древних ледников в Восточной Сибири // Известия Восточно-Сибирского отдела Императорского Русского Географического общества. 1882. Т. 12, № 4–5. С. 28–62.
- Чувардинский В.Г.** Результаты сквозного разбуривания ледниковых покровов Арктики и Антарктиды и их значение для решения проблем четвертичного периода // Известия РГО. 2012. Т. 144, вып. 2. С. 28–41.
- Шейнкман В.С.** Оледенение гор Сибири: взаимодействие ледников и криогенных и льдов // Лед и снег. 2010. № 4 (112). С. 101–110.
- 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., Плюснин В.М.** Оледенение севера Западной Сибири: спорные вопросы и пути их решения // Лед и снег. 2015. № 1 (128). С. 103–120.
- Шмелев Л.М.** Происхождение пластовых залежей подземного льда в низовьях р. Енисей // Известия АН СССР. Сер. географ. 1967. № 2. С. 108–115.
- Шполянская Н.А.** Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики глазами подземных льдов. Москва ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2015. 370 с.
- Шумский П.А.** Основы структурного ледоведения. М. : Изд-во АН СССР, 1955. 492 с.
- Шумский П.А., Краусс М.С.** Динамика и тепловой режим ледников. М. : Наука, 1983. 87 с.

**Соломатин В.И., Белова Н.Г.** Доказательства погребенного глетчерного происхождения пластовых льдов // Труды десятой международной конференции по мерзлотоведению TICOP. Салехард, 25–29 июня 2012 г. Салехард : Печатник, 2012. Т. 3. С. 493–497.

**Bierman P.R., Corbett L.B., Graly J.A., Neumann T.A., Lini A., Crosby B.T., Rood D.H.** Preservation of a Preglacial Landscape Under the Center of the Greenland Ice Sheet // *Science*. 2014. V. 344. P. 402–405.

**Boulton G.S.** Theory of glacial erosion, transport and deposition as a consequence of subglacial sediment deformation // *Journal of Glaciology*. 1996. V. 42, № 140. P. 43–62.

**Dowdeswell J.A., O Cofaigh C., Pudsey C.** Thickness and extent of the subglacial till layer beneath an Antarctic paleo-ice stream // *Geology*. 2004. № 32. P. 13–16.

**Engelhard H., Humprey N., Kamb B., Fahnestock M.** Physical conditions at the base of fast moving Antarctic Ice Stream // *Science*. 1990. V. 248, № 14. P. 57–59.

**Gow J., Epstein S., Sheehy W.** On the origin of stratified debris in ice cores from the bottom of the Antarctic ice sheet // *Journal of Glaciology*. 1979. V. 23, № 89. P. 185–192.

**Hughes T.** Glacial permafrost and Pleistocene ages // Second International Conference on permafrost. Washington. Nat. Acad. Sci. 1973. P. 213–222.

**Mackay J.R.** The origin of massive ice beds in permafrost; Western Arctic Coast, Canada // *Canadian Journal of Earth Science*. 1971. V. 8, № 4. P. 397–422.

**Sheinkman V.S.** Quaternary glaciation in North-Western Siberia – New evidence and interpretation // *Quaternary International*. 2016. V. 420. P. 15–23.

**Sheinkman V.S.** Quaternary Glaciations – Extent and chronology. Chapter: Glaciation in the High Mountains of Siberia. INQUA. Amsterdam : Elsevier, 2011. P. 883–907.

**Talalay P.G.** Subglacial till and bedrock drilling // *Cold Regions Science and Technology*. 2013. V. 86. P. 142–166.

**Tulaczuk S., Kamb W.B., Scherer R.P., Engelhard H.F.** Sedimentary processes at the base of a West Antarctic Ice Stream: Constraints from textural and compositional properties of subglacial debris // *Journal of Sedimentary Research*. 1998. V. 68, № 3. P. 487–496.

#### Автор:

**Шейнкман Владимир Семёнович**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт криосферы Земли СО РАН, Тюменский государственный университет, доцент, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru

*Geosphere Research*, 2017, 2, 14–32. DOI: 10.17223/25421379/3/2

**V.S. Sheinkman**

*Earth Cryosphere Institute SB RAS; Tyumen State University; Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia*

### BEDDED GROUND ICE BODIES IN THE LIGHT OF DATA OF SIBERIA'S GLACIATION

As a result of author's study of the glaciers and ground ice for many years, all over Siberia, a large factual material has been collected, and on such a base possibility of burying the glaciers in the permafrost area has been analyzed, and duration of their stay in such a state has been estimated. Siberia's glaciers developed only valley forms interacting with permafrost, and their features are more characteristic for permafrost phenomena, whereas ice sheets have not developed there in the Quaternary. Also a conclusion has been drawn that an existence of buried glaciers is unreal in a scale of geological time, and the disputed bedding ground ice bodies in Siberia, which are sometimes attributed to remains of ancient glaciers, have not been of glacial origin. Some researchers, nevertheless, suppose Pleistocene ice sheets extending over North Siberia; besides, some of them consider ground ice bodies as relics of those sheets. Though there is not today enough clear explanation to unfold origin of all ground ice bodies, development in their observed variety have to be explained based on current knowledge of geocryology.

According to dependable data obtained in long-term research from all glaciated areas of Siberia, neither ice sheets, nor any glaciers can be saved for a long time in a state of dead ice. It is impossible even in Northeastern Siberia, the coldest area of the Northern Hemisphere, where annual air temperatures are as low as  $-17^{\circ}\text{C}$ , and the absolute temperature minimum has been registered as of  $-67.8^{\circ}\text{C}$ . However the characteristic feature of Siberia's continental climate is a short, but at the same time hot summer. In such a situation the coarse moraine material covering dead glaciers cannot preserve their ice bodies from melting. Moraine debris is not a good heat insulator, and active summer heat is able to penetrate deep through the debris into the ice body of the dead glaciers by air and melt water. The longest time to save the buried ice under a moraine cover is of about 100–150 years only even in the coldest areas of Siberia, and though some ice bodies of permafrost and, respectively, glaciers can be resembled each other, there is no reason to consider the currently inexplicable ice phenomena as relics of ancient glaciation.

**Keywords:** *Glaciation, permafrost, Pleistocene, ground ice, bedding ice bodies.*

### REFERENCES

Arkhipov S.F. *Glavnye geologicheskie sobytiya pozdnego pleystotsena (Zapadnaya Sibir')* [The main geological events of the late Pleistocene (Western Siberia)] // *Geologia i Geofizika*. 2000. V. 41. № 6. pp. 792–799. In Russian

Baulin V.V., Dubikov G.I. *Plastovye zalezhi podzemnogo l'da* [Bedding bodies of underground ice] // *Trudi PNIIS*. 1970. V. II. pp. 175–193. In Russian



- Berg L.S. *Osnovi klimatologii* [Fundamentals of climatology]. Leningrad: Uchpedgiz, 1938. 456 p. In Russian
- Bol'shiyanov D.Y. *Passivnoe oledenenie Arktiki i Antarknidi* [Passive glaciation of Arctic and Antarctic]. St-Petersburg: AASRI, 2006. 296 p. In Russian
- Bol'shiyanov D.Y., Makarov A.S., Shnaider V., Shtof G. *Proiskhozhdenie i razvitie del'ti reki Leni* [Origin and development of Lena River's delta]. St-Petersburg: AASRI, 2013. 266 p. In Russian
- Vasil'chuk Y.K. *Gomogennye i geterogennye plastovye ledyanie zalezhi v mnogoletnemerzlykh porodakh* [Homogeneous and heterogeneous bedding ice bodies in permafrost rock] // *Kriosfera Zemli*. 2011. V. XV. № 1. pp. 40–51. In Russian
- Vasil'chuk A.K., Vasil'chuk Y.K. *Palinologicheskaya indikatsiya negletchernogo proiskhozhdeniya plastovikh l'dov* [Palynological indication of non-glacier origin of bedding ice bodies] // *Inzhenernaya geologia*. 2010. № 1. pp. 24–38. In Russian
- Vasil'ev I.S. *Zakomernosti sezonnogo protaivaniia gruntov v Vostochnoi Yakutii* [Regularities of seasonal thawing the grounds in Eastern Yakutia]. Novosibirsk: Nauka, 1982. 136 p. In Russian
- Voeikov A.I. *Klimaticheskie uslovia lednikovikh yavleniy, nastoyashchikh i proshedshikh* [Climatic conditions of modern and past glacial phenomena] // *Zapiski Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1881. Ser.2. Part 16. pp. 21–90. In Russian
- Vollosovich K.A. *Doklad o geologicheskoy stroenii Novosibirskikh ostrovov i Zemli Benneta, a takzhe o svyazi ikh tektoniki s danimi, imeyushchimisya po chasti geologicheskogo stroeniya severnoy chasti Sibirskogo materika* [Report about both geological structure of New Siberian Islands and Bennet's Land, and also connection of their tectonics with data concerning geological structure of the Siberian continent] // *Zapiski Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1905. Ser. 2. P. 43. № 2. pp. 84–87. In Russian
- Vtyurin B.I. *Podzemnie l'di SSSR* [Ground ice of the USSR]. Moscow: Nauka, 1975. 215 p. In Russian
- Vtyurin B.I. *Zalezheobrazuyushchie podzemnie l'di v nizov'yakh Eniseya* [Bedding ground ice in the down reaches of Yenisei] // *Trudi PNIIS*. 1972. T. XVIII. pp. 175–182. In Russian
- Gasanov S.S. *Sintez kriolitologicheskogo znaniya* [Synthesis of cryolithological knowledge]. Moscow: Nauka, 1984. 88 p. In Russian
- Gasanov S.S. *Stroenie i istoriya formirovaniya merzlykh porod Vostochnoy Chukotki* [Structure and history of permafrost formation in Eastern Chukotka]. Moscow: Nauka, 1969. 167 p. In Russian
- Geokriologicheskii slovar'* [Geocryological dictionary]. Eds. by Baulin V.V., Murzaeva V.A. Moscow: GEOS, 2003. 140 p. In Russian
- Glatsiologiya Shpitsbergena* [Glaciology of Spitsbergen]. Ed. by Zhitnikova S.A. Moscow: Nauka, 1985. 200 p. In Russian
- Grigoriev A.A. *Ob oledenenii Yakutii v chetvertichnyy period*. About glaciation of Yakutia during the Quaternary // *Trudi Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. Leningrad. 1932. № 1. pp. 31–42. In Russian
- Grosvald M.G. *Arktika v posledniy lednikoviy maksimum i v golotsene – okeanskaya vibrosi i morskaya l'di, ikh dvizhenie i svyaz' s klimatom* [Arctic during the Last Glacial maximum and Holocene – ocean discharges, continental and sea ice, their movement and relationship with climate] // *Materialy glatsiologicheskikh issledovaniy*. 2004. pp. 47–54. In Russian
- Gruza V.V., Romanovskiy S.I. *Printsip aktualizma i logika poznaniya geologicheskogo proshlogo* [Principal of actualism and logic of cognition of the geological past] // *Izvestia AN SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1974. № 2. pp. 125–134. In Russian
- Gusev E.F., Kostin D.A., Markina N.V., Rekant P.V., Sharin V.V., Dorechkina D.E., Zarkhidze D.V. *Problemy kartirovaniya i geneticheskoy interpretatsii chetvertichnykh otlozheniy arkticheskogo shelfa Rossii (po materialam GGK41000/3)* [Problems of mapping and genetic interpretation of Quaternary deposits in Russian Arctic's shelf (on the material of GGK41000/3)] // *Regionalnaya geologia i metallogeniya*. 2012. № 50. pp. 5–14. In Russian
- Dubikov G.I. *Sostav i kriogennoye stroenie merzlykh tolshch Zapadnoy Sibiri* [Composition and cryogenic structure of permafrost in Western Siberia]. Moscow: GEOS, 2002. 248 p. In Russian
- Dubikov G.I., Koreisha M.M. *Iskopaemiy in'ektsionnyy l'di na poluostrove Yamal* [Fossil injection ice in the Yamal Peninsula] // *Izvestia AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. 1964. № 5. pp. 58–65. In Russian
- Evteev S.A. *Geologicheskaya deyatel'nost' lednikovogo pokrova Vostochnoy Antarktidi* [Geologic activity of the East Antarctic Ice Sheet]. Moscow: Nauka, 1964. 120 p. In Russian
- Zharikov V.A., Zinoviev E.V., Trofimova S.S. *O pervoy nakhodke ARACITES INTERGLACIALIS WIELICZK v basseine Pechori* [About the first finding of ARACITES INTERGLACIALIS WIELICZK in Pechora's Basin] // *Uralskiy geologicheskii zhurnal*. 2015. № 5 (107). pp. 13–40. In Russian
- Kaplianskaia F.A., Tarnogradskiy V.D. *Glatsialnaya geologia* [Glacial Geology]. St-Petersburg: Nedra, 1993. 328 p. In Russian
- Kaplyanskaia F.A., Tarnogradskiy V.D. *Reliktovye gletshernye l'di na severe Zapadnoy Sibiri i ikh rol' v stroenii raionov pleistotsenovogo oledeniya kriolitozoni* [Relic glacial ice in the North of Western Siberia and their role in structure of regions of the Pleistocene glaciation of cryolithozone] // *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1976. V. 231. № 5. pp. 1185–1187. In Russian
- Karpov E.G. *Podzemnie l'di Yeniciskogo Severa* [Underground ice of the North Yenisei area]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 134 p. In Russian
- Karpov E.G., Grigoriev N.F. *Moshchnaya zalez' podzemnogo l'da na Yenisee u shiroti Polyarnogo kruga* [Thick bedding body of underground ice at Yenisei at latitude of the Arctic Circle] // *Merzlotnye issledovaniya*. V. XVIII. Moscow: Izd-vo MGU, 1978. pp. 149–156. In Russian
- Kolosov D.M. *Problemy drevnego oledeniya Severo-Vostoka SSSR* [Problems of ancient glaciation of the North-East of the USSR]. Moscow-Leningrad: Izd-vo Glavsevmopputi, 1947. 175 p. In Russian
- Koreisha M.M. *Sovremennoye oledenenie khrebtov Suntar-Khaiata* [Modern glaciation of Suntar-Khaiata Range]. Moscow: Izd-vo AN USSR, 1963. 170 p. In Russian
- Koreisha M.M., Khimenkov A.N., Briskina G.S. *O proiskhozhdenii plastovikh zalezhei podzemnogo l'da na severe Zapadnoy Sibiri* [About origin of bedding ice bodies in the North of Western Siberia] // *Materialy glatsiologicheskikh issledovaniy*. 1981. № 41. pp. 62–66. In Russian
- Kotsebu O.E. *Puteshestvia vokrug sveta* [Travels around the world]. Moscow: Drofa, 2011. 966 p. In Russian
- Kritsuk L.N. *Podzemnie l'di Zapadnoy Sibiri* [Underground ice Western Siberia]. Moscow: Nauchnyi mir, 2010. 352 p. In Russian
- Kuzin I.L. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Geomorphology of Western Siberian Plain]. St-Petersburg: Izd-vo Polyarnoy akademii, 2005. 176 p. In Russian

- Kuznetsova T.P., Karpov E.G. *Uslovia formirovaniya ledomineral'nogo kompleksa Ledyanoi gori* [Conditions of forming the ice-mineral complex of Ice Hill]. Yakutsk: IM SO RAN USSR, 172 p. In Russian
- Lavrushin Y.A. *Stroenie i formirovanie moren materikovikh oledeneniya* [Structure and formation of continental glaciations]. Moscow: Nauka, 1976. 237 p. In Russian
- Lopatin I.A. *Nekotorye svedeniya o ledyanikh sloyakh Vostochnoi Sibiri* [Some data about ice layers in Eastern Siberia] // *Prilozhenie № 1 k XXIX tomu Zapisok Imperatorskoi Akademii Nauk*. St-Petersburg. 1876. pp. 3–32. In Russian
- Melnikov V.P. *K sozdaniyu tsel'nogo obraza kriosferi Zemli* [To the creation of the whole image of Earth's cryosphere] // *Kriosfera Zemli*. 2014. V. XVIII. № 4. pp. 3–12. In Russian
- Melnikov V.P., Spector V.B., Sheinkman V.S., Fedorov A.N., Galanin A.A., Spector V.V., Pushkar' V.S., Kadota T. *Eksperimental'nie issledovaniya izotopnogo sostava lednikov Suntar-Khayata* [Experimental research of isotopic composition of glaciers in Suntar-Khayata Range] // *Kriosfera Zemli*. 2013. V. XVII. № 4. pp. 63–73. In Russian
- Obruchev V.A. *Priznaki lednikovogo perioda v Severnoi i Tsentral'noi Azii* [Showings of the Glacial Period in North and Central Asia] // *Izbrannie raboti po geografii Azii*. Selected works on geography of Asia. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo geograficheskoi literature. 1951. V. 3. pp. 49–128. In Russian
- Paterson W.S.B. *Fizika lednikov* [The physics of glaciers]. Moscow: Mir, 1984. 473 p. In Russian
- Pidoplichko I.G. *O lednikovom periode* [About the Glacial Period]. Kiev: Izd-vo AN USSR, № 1. 1946. 171 p. In Russian
- Plastovie l'di kriolitozoni [Bedding ice of cryolithozone]. Ed. Popov A.I. Yakutsk: IM SO AN SSSR, 1982. 140 p. In Russian
- Popov A.I. *Merzlotnie yavleniya v zemnoy kore (kriolitologia)* [Permafrost phenomena in the earth crust (cryolithology)]. Moscow: MGU, 1967. 304 p. In Russian
- Romanovskiy N.N. *Formirovanie poligonal'no-zhil'nykh struktur* [Formation of polygonal-wedge structures]. Novosibirsk: Nauka. 1977. 215 p. In Russian
- Sapozhnikov V.V. *Katun' I eyo istoki. Puteshestvia 1897-1899 godov* [Katun' and its sours. Travels of 1897–1899 yrs]. Tomsk: Parovaia tipo-litografiya P.I. Makushina, 1901. 271 p. In Russian
- Sapozhnikov V.V. *Puti po Russkomu Altaiu* [Routes across Russian Altai]. Tomsk: Tipo-litografiya Sibirskogo Tovarishchestva pechatnogo dela, 1912. 169 p. In Russian
- Serebryaniy L.R., Orlov A.V., Solomina O.N. *Moreni – istochnik glatsiologicheskoi informatsii* [Moraines – issues of glaciological information]. Moscow: Nauka, 1989. 236 p. In Russian
- Serebryaniy L.R., Golodkovskaya N.A., Orlov A.V., Malyasova E.S., Il'ves E.O. I. et al. *Kolebaniya lednikov i protsessy morenno-kopleniya na Tsentral'nom Kavkaze* [Fluctuations of glaciers and processes of moraine accumulation in Central Caucasus]. Moscow: Nauka, 1984. 216 p. In Russian
- Solomatina V.I. *Fizika i geografiya podzemnogo oledeneniya* [The physics and geography of underground glaciation]. Novosibirsk: Geo, 2013. 346 p. In Russian
- Solomatina V.I. *Iskopaemye relikti lednikovogo l'da na severe Zapadnoi Sibiri* [Fossil relics of glacial ice in the North of Western Siberia] // *Materialy glatsiologicheskikh issledovaniy*. 1977. № 29. pp. 233–240. In Russian
- Streletskaia I.D., Gusev E.A., Vasil'ev A.A., Rekant P.V., Arslanov K.A. *Podzemnye l'dy v chetvertichnykh otlozheniyakh Karsogo morya kak otrazhenie paleogeograficheskikh usloviy kontsa neopleistotsena-golotsena* [Underground ice in the Quaternary deposits of the Kara Sea coast as a reflection of paleogeographical conditions in the end of the Neo-Pleistocene – Holocene] // *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 2012. № 72. pp. 28–59. In Russian
- Sumgin M.I. *Vechnaia merzlota pochvy v predelakh SSSR* [Permafrost of soils in the bounds of the USSR]. Vladivostok: Dal'nevostochnaya geofizicheskaya observatoriya. 1927. 369 p. In Russian
- Sumgin M.I., Kachurin., Tolstikhin N.I., Tumel' V.F. *Obshchee merzlotovedenie*. [General geocryology]. Moscow-Leningrad: AN USSR, 1940. 336 p. In Russian
- Talalai P.G. *Samiy drevniy l'od Antarktidy: poiski i resheniya* [The most ancient ice of Antarctic: searches and solutions] // *Priroda*. 2011. № 4. pp. 19–25. In Russian
- Toll' E.V. *Iskopaemye ledniki Novosibirskikh ostrovov, ikh otnosheniye k trupam mamontov i k lednikovomu periodu* [Fossil glaciers of New Siberian Islands, their relationship with mammoth corpses and Glacial Period] // *Zapiski Imperatorskogo Russkogo Geograficheskogo obshchestva*. 1897. V. XXXII. № 1. pp. 130–152. In Russian
- Tronov M.V. *Ocherki oledeneniya Altaia* [Sketches of Altai glaciation]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo geograficheskoi literature, 1949. 376 p. In Russian
- Feldman G.M. *Prognoz temperaturnogo rezhima gruntov i razvitiya kriogennikh protsessov* [Prognosis of ground temperature regime and development of cryogenic processes]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 190 p. In Russian
- Figurin A.E. *Iz vlechenie iz zapisok medico-khirusga Figurina, vedennykh vo vremya opisi beregov Severo-Vostochnoi Sibiri* [Extract from the notes of medical surgeon Figurin, carried out during description of North-Eastern Siberian coast] // *Zapiski Rossiyskogo Admiralteistva*. St-Petersburg. 1825. V. 5. pp. 259–328. In Russian
- Cherskiy I.D. *K voprosu o sledakh drevnykh lednikov v Vostochnoi Sibiri* [To the question of evidence of ancient glaciers in Eastern Siberia] // *Izvestiya Vostochno-Sibirskogo otdela Imperatorskogo Russkogo Geograficheskogo obshchestva*. 1882. V. 12. № 4–5. pp. 28–62. In Russian
- Chuvardinskiy V.G. *Rezultaty skvoznoy razburivaniya lednikovikh pokrovov Arktiki i Antarktidy i ikh znachenie dlya resheniya problem chetvertichnogo perioda* [Results of through drilling the Arctic and Antarctic ice sheets and their signification for solving problems of the Quaternary] // *Izvestiya RGO*. 2012. V. 144. № 2. pp. 28–41. In Russian
- Sheinkman V.S. *Oledeneniye gor Sibiri: vzaimodeystvie lednikov i kriogennikh l'dov* [Glaciation of Siberia: interaction of glaciers and cryogenic ice] // *L'od i sneg*. 2010. № 4 (112). pp. 101–110. In Russian
- Sheinkman V.S., Melnikov V.P. *Ledniki Sibiri kak component kriolitogennno-glatsial'nykh geosistem*. [Glaciers of Siberia as a component of cryogenic-glacial geosystems] // *Kriosfera Zemli*. 2014. V. XVIII. № 2. pp. 3–23. In Russian

- Sheinkman V.S., Plyusnin V.M. *Oledenenie severa Zapadnoi Sibiri: spornie voprosi i puti ikh reshenia* [Glaciation of North-Western Siberia: discussion questions and ways for their solution] // *L'od i sneg*. 2015. № 1 (128). pp. 103–120. In Russian
- Shmelyov L.M. *Proiskhozhdenie plastovykh zalezhei podzemnogo l'da v nizov'yakh Eniseia* [Origin of bedding ice bodies in Down Yenisei River] // *Izvestia AN SSSR. Seria geograficheskaya*. 1967. № 2. pp. 108–115. In Russian
- Shpolyanskaya N.A. *Pleistotsen-golotsenovaia istoria razvitiia kriolitozoni Rossiiskoi Arktiki glazami podzemnykh l'dov* [Pleistocene-Holocene history of permafrost development of Russian Arctic by eyes of underground ice]. Moscow-Izhevsk: Institute of computer researches. 2015. 370 p. In Russian
- Shumskiy P.A. *Osnovi strukturnogo ledovedeniia* [Foundation of structural ice knowledge]. Moscow: Ed. AS USSR, 1955. 492 p. In Russian
- Shumskiy P.A., Krass M.S. *Dinamika i teplovoi rezhim lednikov* [Dynamics and heat regime of glaciers]. Moscow: Nauka, 1983. 87 p. In Russian
- Solomatina V.I., Belova N.G. *Dokazatel'stva pogrebennogo gletchernogo proiskhozhdeniya plastovykh l'dov* [Evidence of buried glacial origin of formation ice] // *Trudy desyatoy mezhdunarodnoy konferentsii po merzlotovedeniyu TICOP*. Salekhard, 25–29 iyunya 2012 g. T. 3. Salekhard: Pechatnik, 2012. pp. 493–497. In Russian
- Bierman P. R., Corbett L.B., Graly J.A., Neumann T.A., Lini A., Crosby B.T., Rood D.H. Preservation of a Preglacial Landscape Under the Center of the Greenland Ice Sheet // *Science*. 2014. V. 344. pp. 402–405.
- Boulton G.S. Theory of glacial erosion, transport and deposition as a consequence of subglacial sediment deformation // *Journal of Glaciology*. 1996. V. 42. № 140. pp. 43–62.
- Dowdeswell J.A., O Cofaigh C., Pudsey C. Thickness and extent of the subglacial till layer beneath an Antarctic paleo-ice stream // *Geology*. 2004. № 32. pp. 13–16.
- Engelhard H., Humprey N., Kamb B., Fahnestock M. Physical conditions at the base of fast moving Antarctic Ice Stream // *Science*. 1990. V. 248. № 14. pp. 57–59.
- Gow J., Epstein S., Sheehy W. On the origin of stratified debris in ice cores from the bottom of the Antarctic ice sheet // *Journal of Glaciology*. 1979. V. 23. № 89. pp. 185–192.
- Hughes T. Glacial permafrost and Pleistocene ages // *Second International Conference on permafrost*. Washington. Nat. Acad. Sci. 1973. pp. 213–222.
- Mackay J.R. The origin of massive ice beds in permafrost; Western Arctic Coast, Canada // *Canadian Journal of Earth Science*. 1971. V. 8. № 4. pp. 397–422.
- Sheinkman V.S. Quaternary glaciation in North-Western Siberia – New evidence and interpretation // *Quaternary International*. 2016. V. 420. pp. 15–23.
- Sheinkman V.S. Quaternary Glaciations – Extent and chronology. Chapter: Glaciation in the High Mountains of Siberia. INQUA. Amsterdam. Elsevier. 2011. pp. 883–907.
- Talalay P.G. Subglacial till and bedrock drilling // *Cold Regions Science and Technology*. 2013, V. 86. pp. 142–166.
- Tulaczuk S., Kamb W.B., Scherer R.P., Engelhard H.F. Sedimentary processes at the base of a West Antarctic Ice Stream: Constraints from textural and compositional properties of subglacial debris // *Journal of Sedimentary Research*. 1998. V. 68. № 3. pp. 487–496.

#### Author:

**Sheinkman Vladimir Sem.**, PhD, Cand. Sci. (Geogr.), Leading Scientific Worker, Earth' Cryosphere Institute SB RAS, Leading scientific worker of the Tyumen State University; Assistant Professor, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia.  
E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru