

УДК 551.328.2(571.1-17)

*Ю.Б. Баду, В.Т. Трофимов, Ю.К. Васильчук*

### **ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТИПЫ ПЛАСТОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ**

Анализируются особенности состава, строения и взаимоотношения с вмещающими породами пластовых залежей льда на севере Западной Сибири. Выделяется четыре типа залежей - инъекционно-сегрегационный, инъекционный, погребенный и инфильтрационно-сегрегационный. Дается описание наиболее интересных разрезов выделенных типов пластовых залежей льдов. Составлена схема распространения пластовых залежей льдов на севере Западной Сибири

За последние 15-20 лет появилось большое количество работ, посвященных изучению пластовых залежей льда (ПЗЛ) на территории Западной Сибири. После исследований Г.И. Дубикова и особенно наших площадных работ стало ясно, что ПЗЛ развиты в Западной Сибири гораздо шире, чем представлялось до недавнего времени (рисунок). Актуальными стали проблемы генезиса залежей и особенностей их распространения. Оказалось, что ПЗЛ имеют различное строение, морфологию, размеры, неодинаковые условия залегания в породах того или иного возраста. Сейчас решается проблема систематизации материалов по характеристике всех генетических типов ПЗЛ. Ведь до сих пор не существует однозначного решения проблемы генезиса ПЗЛ; механизм их образования находится на стадии выяснения и гипотез, нередко взаимоисключающих одна другую, нуждающихся в новых исследованиях и доказательствах.

Первый вопрос, который возникает в процессе исследований, что относить к ПЗЛ? Мы считаем - особую форму макровключений льда в многолетнемерзлых породах, возникшую как в процессе криолитогенеза в толщах с напорными подземными водами, так и в процессе консервации остатков криосферных образований льда (айсбергов, ледников, льдин морских, речных и озерных). Анализ материалов об условиях их залегания и морфологии позволяет выделить 4 типа ПЗЛ:

1. *Инъекционно-сегрегационный* (пласты льда залегают на контакте песчаных и глинистых пород без нарушения слоистости вмещающих пород, но с зоной сильно льдонасыщенных отложений над кровлей ледяного пласта).

2. *Инъекционный* (пласты льда залегают субгоризонтально или субвертикально, нередко представляя собой огромные лакколлиты, вмещающие породы смяты и дислоцированы; структура и текстура льда и морфология ледяного тела имеют признаки динамического внедрения масс воды или разжиженного грунта с последующим замерзанием их).



**Распространение пластовых залежей подземного льда в северной части Западно-Сибирской плиты.**

1 – инъекционно-сегрегационные ПЗЛ в голоценовых и верхнеплейстоцен-голоценовых отложениях; 2 – инъекционно-сегрегационные ПЗЛ в средне- и верхнеплейстоценовых морских отложениях; 3 – инъекционные ПЗЛ в ядрах голоценовых бугров пучения; 4 – инъекционные ПЗЛ в средне- и верхнеплейстоценовых морских и ледниково-морских отложениях; 5 – погребенные ПЗЛ в голоценовых аллювиальных отложениях; 6 – погребенные ПЗЛ в голоценовых и

верхнеплейстоцен-голоценовых лагунно-морских и прибрежно-морских отложениях; 7 – погребенные ПЗЛ в среднеплейстоценовых ледово- и ледниково-морских отложениях; 8 – погребенные ПЗЛ в средне- и верхнеплейстоценовых ледниковых отложениях; 9 – пластовые льды не-установленного генезиса.

3. *Погребенный* (осадочный) - кровля пласта льда обычно перекрыта с эрозионным несогласием косослоистыми песками, реже супесчано-суглинистыми породами, вмещающими в верхней части толщи сингенетические ПЗЛ; основная масса льда залегает в морских суглинистых отложениях, парагенетически тесно связана с последними; реже встречается в толщах ледникового, аллювиального, озерного генезиса; текстура и структура льда имеют признаки континентального глетчерного происхождения, смешанные со следами перемещения в морской среде.

4. *Инфильтрационно-сегрегационный* - практически не изучен в природных условиях. В древних озерных котловинах Гыдана и Восточного Ямала нами изучены пласты льда видимой мощности 2-3 м, перекрытые торфом и озерными суглинками.

### **Инъекционно-сегрегационные пластовые залежи льда**

Этот тип ПЗЛ наиболее широко развит на севере Западной Сибири. Он описан в толщах разного генезиса и возраста, имеет различные размеры и отмечается на разных глубинах.

Инъекционно-сегрегационные пластовые залежи льда в голоценовых и верхнеплейстоцен - голоценовых отложениях изучены в местах наиболее широкого их развития на Южном Ямале - в пределах Лаборовской мульды у оз. В. Сибилей. ПЗЛ имеют видимую мощность 2-4 м, кровля их залегает на глубине 3-4 м в толще озерных суглинков. Залежь представлена горизонтальными пластами слоистого льда, перекрытыми сильнольдистым суглинком со слоистой тонкошлировой криогенной текстурой. В верхней части пласта льда - тонкие волокнистые слои суглинка. В средней части - горизонтально-полосчатый прозрачный лед (вертикальные призматические кристаллы высотой 1 см с воздушными пузырьками). В нижней части - чистый лед смешан с суглинистым льдо-грунтом, где нередко порода - в виде неровных обломков (суглинок заметно опесчанен, содержит мелкий гравий).

Химический состав льда, спорово-пыльцевые спектры льда и вмещающих пород не исследованы.

Залежи инъекционно-сегрегационных ПЗЛ в морских отложениях среднего и верхнего плейстоцена изучены нами на Ямале (оз. Нейто, долина р. Сеяхи Мутной и др.) и в разрезах северо-восточного Гыдана.

Это залежи более крупных размеров: видимая мощность 3-20, полная - 40-50 м, протяженность в обнажениях 50-100 м, глубина залегания кровли от 3-5 до 25-30 м и более. Вмещающие отложения представлены морскими и прибрежно-морскими суглинками, песками и глинами салехардской, реже казанцевской свит. Горизонтальные слоистые пласты чистого прозрачного и мутноватого льда, переслаивающиеся со слоями льдонасыщенного грунта или льда с породой, имеют согласное залегание в толще. Перекрывающие суглинисто-глинистые породы трещиноваты, трещины заполнены льдом - сетчатая криогенная текстура с преобладанием вертикальных выклинивающихся кверху шлиров толщиной 10-15 см. Мощность льдистой раздробленной зоны от 2 до 8 м, иногда больше. Выше - типичная эпигенетическая решетка сетчатой криогенной текстуры в суглинках алевритистого облика с плитчатой отдельностью. Под этой решеткой отчетливо заметен слабольшедистый интервал пород.

Лед пласта нередко насквозь прорван вторичными вертикальными штоками интрузивного облика. Подошва сетчатых суглинков в этом месте антиклинально изогнута, характеризуется следами сильного гидравлического удара. На кровле пласта - песчаная прослойка.

Анализ химического состава показывает, что пласты льда, расположенные ближе всего к поверхности, характеризуются пресным гидрокарбонатно-магниевым составом с примесью аниона аммония. Минерализация 0,01-0,1 г/л. Глубоко залегающие пласты льда имеют хлоридно-натриевый, хлоридно-сульфатный состав и минерализацию 0,1-0,5 г/л.

В ряде районов восточного Ямала нами встречены и изучены ПЗЛ довольно сложного строения. Это обычно горизонтальные пласты льда мощностью 0,5-1 м, пронизанные ледяными жилами до 15 м высотой. Залегают в оторфованных супесях и песках третьей и второй лагунно-морских террас. Химический состав пластов - гидрокарбонатно-хлоридный - натриево-кальциевый, ледяных жил - гидрокарбонатно-сульфатный-кальциево-натриевый, общее содержание водорастворимых солей у последних в 1,5-2 раза выше. Интересно, что спорово-пыльцевые спектры в горизонтальном пласте - совпадают со спектрами подстилающих песков (по древесным - кедру, ели и по карликовой березке). В спектрах полигонально-жилых льдов меньше пыльцы древесных, нет карликовой березки - состав спектров ближе к спектрам вмещающей оторфованной супеси. Вопрос о генезисе горизонтального пласта пока остается открытым - это может быть как внутригрунтовой (сегрегационный или инфильтрационно-сегрегационный), так и погребенный лед.

### **Инъекционные льды**

Инъекционные пластовые ледяные тела бугров пучения в голоценовых отложениях описаны Ю.К. Васильчуком в бассейнах рек Танлова-яха, Еръеха, Сабьяха. Более крупные залежи в средне- и верхнеплейстоценовых морских и ледниково-морских отложениях суглинисто-глинистого состава исследованы нами на Ямале в долинах рек Юрибей, Мордыяха, на Гыдане - рек Юрибей, Гыда, Танама и др. Видимая мощность этих залежей достигает 15-20, протяженность - 100-200 м и более, глубина залегания - в пределах современного эрозионного вреза.

Таблица  
Приуроченность залежей пластовых льдов к районам с различной амплитудой новейших деформаций (составил Ю.Б.Бадю, 1978 г.)

Степени суммарной неоген-четвертичных деформаций, м	Количество разрезов с ПЗЛ (% от общего числа)						Всего
	Генетический тип ПЗЛ						
	инъекционный		инъекционно-сегрегационный		погребенный		
	Ямал	Гыдан	Ямал	Гыдан	Гыдан	Гыдан	
< 100	4						4
от -100 до -50	5						5
от -50 до 0			30				30
от 0 до 50			15	10			25
от 50 до 100			5		8		13
> 100			-		9		9
В пределах живущей зоны глубинных разломов: Ямальского Гыданского	9	5					14

Текстура льда таких пластовых тел имеет характерный облик тел внедрения - вид застывшего потока, струи. Лед - различного цвета и структуры содержит взвесь песчаного и обломки суглинисто-глинистого материала вмещающих пород. Нередко инъекционные пласты очень сложно дислоцированы и прорваны повторными интрузиями. Кровля пласта неровная, наклонная. Перекрывающие породы активно смяты, сильно льдонасыщены. В некоторых случаях пласты с согласно дислоцированными осадками среднего и верхнего плейстоцена.

Химический состав вмещающих отложений - сульфатно-натриевый, льда - гидрокарбонатно-натриевый, хлоридно-натриевый с более высокой минерализацией (1,83 г/л у оз. Тобанто).

### **Погребенные (осадочные) пластовые залежи льда**

Погребенные ПЗЛ в голоценовых аллювиальных отложениях изучены нами на Ямале (реки Тамбей, Иондаяха, Тиутейяха, Сабеттаяха) и на Гыданском полуострове (реки Танама, Антипаюта, Юрибей, Гыда). Погребенные льдины имеют мощность 1-2 м, протяженность 2-5 м, глубина залегания кровли 1-3, реже - 5 м. Вмещающие отложения - пойменный аллювий суглинисто-глинистого состава. Нередко под крутыми берегами ледяные пласты перекрыты склоновыми образованиями (в конусах выноса молодых оврагов). Для этих пластов характерна отчетливая вертикально столбчатая структура льда, шестигранные призматические кристаллы. Вмещающие песчано-глинистые породы имеют облекающую льдину слоистость. Химический состав льда - гидрокарбонатно-кальциевый, магниевый, минерализация - 0,01 г/л.

Погребенные ПЗЛ в лагунно-морских и прибрежно-морских отложениях голоценового и верхнеплейстоцен-голоценового возраста изучены нами на м. Харасавей, у ф. Монгаталян и о-вах Песцовые (Гыдан, п-ов Явай), на р. Мессояха. Эти пласты имеют мощность от 0,5 до 2 м, протяженность 3-5 м, и залегают на глубинах 1-4 м. Вмещающие их осадки - пылеватые пески, супеси, реже суглинки с прослойками аллохтонного торфа, причем сверху ледяного пласта залегают косослоистый песок с аллохтонным торфом, снизу - без торфа. Облекающая слоистость сверху. Лед вертикально-призматической структуры, контакты с вмещавшими песками оплавлены. В отдельных случаях залегают парагенетически с синкриогенными полигонально-жильными льдами (р. Мессояха).

Химический состав льдов - хлоридно-сульфатный натриево-магниевый,  $pH < 7$ , общая жесткость 1,5-2 мг·экв, минерализация 0,15-0,25 г/л.

Погребенные ПЗЛ в среднеплейстоценовых ледово- и ледниково-морских отложениях изучены нами в разрезах на берегах озер Нгэтато, Периптавето, Хасейнто, Ямбуто на Гыдане; впоследствии некоторые из них исследованы В.И. Соломатиным.

Это наиболее крупные ледяные скопления - их видимые размеры достигают 20-25 м в высоту, протяженность 500-600 м, глубина залегания кровли 20-40 м. Вмещающие отложения представлены среднеплейстоценовыми суглинками и глинами салехардской свиты, часто перекрыты супесями и суглинками, на которых лежит пачка мелководных песков и супесей казанцевской свиты с сингенетическими полигонально-жильными льдами. Лед пласта аморфно-зернистый, местами стекловатый, чистый и прозрачный с большим количеством сферических пузырьков воздуха. Кровля перекрыта термокарстово-озерным суглинком, ровная горизонтальная. На боковом контакте темно-серые суглинки с сетчатой криогенной текстурой (шлиры сетки ориентированы параллельно контакту). В отдельных случаях отмечается абрадированная кровля и наклонные боковые контакты, перекрытые косослоистыми песками с сингенетическими полигонально-жильными льдами в верхней части. Во

льду - отторженцы суглинка с сетчатой криогенной текстурой размером 1,5 м, льдогрунтовые вертикальные штоки.

Химический состав льда - гидрокарбонатно-натриевый, местами - примесь хлоридов и сульфатов (рН = 4-6, жесткость 0,1-0,2 мг·экв).

В разрезе на р. Юрибей (Ямал) Ю.К. Васильчуком исследована пластовая залежь, мощностью 2-3 м и протяженностью более 10-15 м, залегающая на глубине 15 м. Пласт лежит под углом в 30-40° в супесчано-суглинистых породах. Строение пласта двухслойное: сверху - лед матовый, светлый, с пузырьками воздуха, снизу - прозрачный, темный, аморфно-зернистый. Спорово-пыльцевые спектры из льда аналогичны по составу тем же из вмещающих пород (преобладание пыльцы древесных, высокое содержание карликовой березки). Пласт лежит в породах нарушенного залегания, что связано, по-видимому, с формированием в этом разрезе инъекционной залежи крупных размеров, непосредственно рядом с пластом. Интерпретация этого разреза неоднозначна: скорее всего, это погребенная пластовая залежь, залегание которой нарушено внедрением более поздней инъекции.

Выше кратко подчеркнута многообразие морфологических и генетических типов ПЗЛ. Теперь постараемся ответить на вопрос о характере и особенностях их распространения. Это необходимо для построения реальной палеогеографической схемы, в рамках которой уложатся все предложенные факты.

До настоящего времени уже были попытки ответить на этот вопрос. Б.И. Втюрин отмечал приуроченность ПЗЛ к положительным тектоническим структурам в зоне развития отложений морских трансгрессий.

Наши предварительные данные показывают, что выходы пластовых льдов довольно отчетливо локализованы в пределах районов с различными степенями неоген-четвертичных деформаций земной коры (таблица). Так, основная часть разрезов с инъекционно-сегрегационными ПЗЛ сосредоточена в районах с небольшой амплитудой деформаций. Здесь отмечается моноклиналиное залегание пород, вмещающих ПЗЛ. Большая часть выходов инъекционных ПЗЛ приурочена к зонам глубинных разломов Ямала и Гыдана, проявляющихся в рельефе. Вмещающие здесь породы смяты в складки, где слои поставлены почти на «голову». Погребенные ПЗЛ расположены в основном в области длительных положительных деформаций земной коры.

Следует подчеркнуть, что распространение инъекционных пластовых льдов в зонах тектонических нарушений глубоких горизонтов земной коры, где залегают пластовые воды под высоким или аномально-высоким пластовым давлением, не исключает возможности подачи огромных массивов воды кверху, в промерзшие и промерзающие породы. Известны промысловые данные об аномально высоких пластовых давлениях (АВПД), под которыми находятся подземные воды и газ в сенманских, валанжинских и даже олигоценых отложениях, т.е. на глубинах в первые сотни метров. В связи с этим не исключается возможность того, что в течение средне- и верхнечетвертичного времени, характерного активным промерзанием пород и периодической неотектонической активностью, могли возникать ситуации нарушения сплошности водоносных горизонтов, выброса и подачи воды в вышележащие слои, уже промерзавшие сверху, либо с активным нарушением их залегания, либо со слабым или вовсе без него. Тогда в первом случае могли возникать ПЗЛ инъекционного типа - в процессе внедрения водной массы кверху температура ее быстро понижалась до состояния некоторого переохлаждения, а при быстрой разгрузке внутреннего напряжения (возникающего под АВПД) очень быстро замерзала, фиксируя строение мощно двигавшегося потока воды. Во втором случае подача воды кверху происходила более медленно, в несколько стадий, без нарушения слоистости и

сложения пород, но достаточно интенсивно, чтобы увлечь за собой обломки и взвесь нижележащих пород. Достигнув местного водоупора, часть воды заполняет трещины, замерзая и образуя сетчатую криогенную текстуру, а другая часть замерзает в виде подстилающего пласта, уплотняя книзу водоносный песчаный горизонт.

Таким образом, существует один общий механизм подачи огромных объемов воды кверху, а его интенсивность определяет и глубину залегания ПЗЛ этого типа, и характер нарушения сплошности пород (в первом случае нарушения максимальные, глубина залегания может достигать минимума в несколько метров, во втором - нарушения слабые и глубина залегания исчисляется 2-3 десятками метров).

Несомненно, что в процессе длительного промерзания образование ПЗЛ могло происходить на различных глубинах. В настоящее время по керну трех скважин на Харасавэйском и Арктическом месторождениях зафиксированы мощные (до 60 м) ледяные пласты с зоной сильнольдистых суглинков над кровлей. Под ледяной залежью - песчаный пласт большой мощности.

О некоторой стратификации ПЗЛ в разрезе ММП свидетельствует и химический состав их воды. Предварительные данные показывают, что в верхней части разрезов сосредоточены гидрокарбонатно-кальциевые воды, ниже - гидрокарбонатно-хлоридные-натриево-кальциевые, а самые глубокие из них имеют хлоридно-натриевый состав, обогащены бромом, йодом и фтором. Почти такой же состав - в повторных инъекциях.

Обособленная группа ПЗЛ (погребенный тип) сосредоточена в пределах салехардской морской равнины северо-восточного Гыдана. В.Н. Сакс и К.В. Антонов считали эти залежи льдинами, погребенными в осадках обмелевающего приледникового бассейна. В настоящее время нам известно: 1) основная их масса приурочена к единому стратиграфическому горизонту - салехардской свите; 2) генезис вмещающих отложений ледниково-морской и ледово-морской, а перекрывающих - прибрежно-морской; 3) криогенные текстуры вмещающих пород на контактах со льдом характеризуют условия субаквального промерзания; 4) суровость фациальных условий погребения и консервации пластовых льдов подчеркивается обедненным составом ископаемой фауны и ее арктическими видами, а также исключительно тундровыми спорово-пыльцевыми спектрами; 5) структура льда носит следы континентального перемещения и перемещения в морской среде, а состав льда - ультрапресный и пресный, лишь иногда солоноватый.

Учитывая эти факты, механизм консервации таких ледяных тел можно представить следующим образом.

Существование морского бассейна с холодными водами (охлажденными в придонной части до минус 1-2°) способствовало достаточно длительному существованию ледяного массива, за время которого он был погребен осадками. При соприкосновении подводной части айсберга с донными осадками, находящимися в немерзлом охлажденном состоянии, придонная вода и внутригрунтовые воды заметно опресняются благодаря таянию и растворению льда, и это приводит к субаквальному промерзанию нелитифицированных суглинисто-глинистых осадков. В процессе эпикриолитогенеза донных отложений разжиженная масса в основании ледяного пласта местами внедрялась в ослабленные зоны его или по разломам в его теле, пронизывая местами его насквозь и внедряясь в вышележащие образования. Об этом свидетельствует характерная особенность макротекстуры пласта - вертикальные клинья голубовато-серого льдо-грунта, утоньшающиеся кверху. Такие льдо-грунтовые «штоки» пронизывают мощную толщу пузырьчатого льда и выклиниваются в вышележащей пачке косослоистых песков в виде тонкой ломаной жилки льда. Также

промерзанию подвергаются осадки вдоль боковых контактов с ледяным телом, что находит свое отражение в ориентировке сетчатых криогенных текстур.

Верхняя часть примерзшего ко дну ледяного массива интенсивно растворяется и размывается волнами, а остатки его постепенно заносятся супесчано-песчаными осадками мелководных фаций. Эти осадки промерзают сингенетически, с формированием в них сингенетических полигонально-жильных льдов. Судя по вещественному составу осадков, криотекстурным особенностям и распределению льдистости, их накопление происходило в мелководных лагунных и пляжевых условиях (в опресненных мелководных водоемах типа Юрацкой и Гыданской губ) на участках акваторий, промерзавших до дна. Суровость условия криолитогенеза описываемых осадков подчеркивается еще и наличием на глубинах 3-4 м криотурбированных слоев, осложненных клиновидными псевдоморфозами по полигонально-жильным льдам. Высокая объемная льдистость этих пород (60-70%) указывает на субаквальный режим криолитогенеза. Таким образом, в процессе субаквального, а затем субаэрального криолитогенеза пласты льда оказались замороженными в донные породы и перекрытыми синкриогенной супесчано-песчаной пачкой отложений.

Все известные ПЗЛ, залегающие выше современного эрозионного вреза, распространены к северу от границы глубокого протаивания многолетнемерзлых пород в климатический оптимум голоцена. Исключение составляют лишь ПЗЛ в современных промерзающих отложениях. Севернее этой границы в районах широкого развития ПЗЛ расположены наиболее крупные озера и озерные котловины. Это огромные воронки глубиной в несколько десятков метров и 20-30 км в поперечнике, расположенные в пределах обширных плоских древних морских равнин. Вблизи крупнейших из них широко развиты древние прибрежные аккумулятивные образования (косы, бары, стрелки и т.д.), ориентированные параллельно береговой линии озер. Котловины озер занимают одинаковое высотное положение в разрезе с ПЗЛ. Все это позволяет считать, что образование таких крупных озер связано с вытаиванием ПЗЛ в верхнеплейстоценовое и голоценовое время. Отсюда следует также, что на обширных пространствах южнее границы голоценового протаивания расположены огромные котловины озер (Советские - глубиной более 100 м, Лаборовская мульда, гряда Сопкай), свидетельствующие о былом, еще более широком, чем известно сегодня, распространении ПЗЛ. Вблизи этих озер необходимо также проводить поиски следов ПЗЛ.

Таким образом, в природных условиях севера Западно-Сибирской плиты отмечены довольно разнообразные формы консервации залежей пластовых льдов. Известные к настоящему времени материалы свидетельствуют о преимущественно инъекционно-сегрегационном и инъекционном процессе их образования и в меньшей степени - о консервации аллохтонных льдов в современных и древних многолетнемерзлых осадках. Эти процессы привели к тому, что: 1) в голоценовых осадках прибрежно-морского, лагунно-морского и аллювиального генезиса содержатся залежи льдов погребенного типа; 2) в озерных верхнеплейстоцен-голоценовых и голоценовых осадках законсервированы пластовые залежи инъекционного и инъекционно-сегрегационного происхождения; 3) на различных глубинах в толщах морских, ледово-морских верхне- и среднеплейстоценовых отложений с водоносными слоями возникли мощные пластовые льды инъекционно-сегрегационного и инъекционного генезиса; 4) в горизонтах толщ морских и ледниково-морских среднеплейстоценовых отложений, соответствующих времени развития максимального оледенения и трансгрессии, законсервированы остатки айсберговых массивов льда; 5) каждому типу ПЗЛ соответствует конкретный геологический разрез и



палеогеографическая обстановка, из которых при дальнейшем глубоком и тщательном изучении должны последовать решения о многочисленных способах образования ПЗЛ.

*Ссылка на статью:*



*Баду Ю.Б., Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К. Основные закономерности распространения и типы пластовых залежей подземного льда в северной части Западно-Сибирской плиты. - В кн.: Пластовые льды криолитозоны. Якутск: ИМ СО АН СССР, 1982, с. 13-24.*