

*Л.Н. Крицук*

ВСЕГИНГЕО

## ГЕНЕЗИС ПЛАСТОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ ИХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Статья поступила в редакцию 15 мая 1984 г.  
Представлена членом редколлегии Б.И. Втюриным

На основе результатов исследований на Западном и Центральном Ямале сформулированы принципы и предложена методика картирования пластовых залежей подземных льдов в разных масштабах.

В последние десятилетия получены обширные сведения об условиях залегания пластовых залежей подземных льдов и вмещающих их породах, что позволяет по-новому взглянуть на проблему их генезиса. В результате многолетних методических и съемочных работ ВСЕГИНГЕО, проводившихся на севере Западной Сибири с применением комплекса современных методов, появилась новая гипотеза образования таких залежей. Согласно этой гипотезе, они представляют собой внутригрунтовые геологические тела, сформировавшиеся в местах разгрузки трещинно-пластовых вод зоны свободного водообмена за счет внедрения их под напором в пластично-мерзлые глинистые отложения в неотектонический этап развития плиты при первичном промерзании территории.

По схеме гидрогеологического районирования Н.И. Толстихина Западная Сибирь представляет собой открытый к Карскому морю обширный сложный артезианский бассейн, северная часть которого проморожена, а краевые районы, граничащие со структурным обрамлением, сложены сильнодислоцированными породами палеозойского фундамента плиты [Пономарев и Толстихин, 1959]. Новейшими геолого-геофизическими разведочными работами установлено широкое развитие в пределах плиты разломной тектоники; большое количество тектонических структур выражено в рельефе [Кузин, 1982; Рудкевич, 1976; Шаблинская, 1982]. Это обусловило большую сложность гидрогеологических условий верхнего структурного этажа к началу промерзания территории, благодаря чему и сформировались залежи подземного пластового льда.

По результатам исследований пластовых залежей подземных льдов на Западном и Центральном Ямале механизм их образования представляется следующим. В неогеновую эпоху, когда на большей части плиты установился континентальный режим, а климат земного шара был значительно мягче современного, сформировался мощный водоносный комплекс, первый от поверхности земли. Области питания подземных вод этого комплекса располагались как в пределах структурного обрамления, так и на наиболее возвышенных частях плиты; водовмещающими породами были линзы грубообломочных прибрежно-морских палеогеновых пород, континентальные озерно-аллювиальные песчано-галечные отложения неогенового возраста и трещиноватые древние породы. Зоны разгрузки совпадали с разрывными тектоническими нарушениями и окраинными частями плиты.

Резкое изменение климата примерно 1,5-2 млн. лет назад привело к неравномерному промерзанию горных пород и содержащихся в них водоносных горизонтов. В первую очередь оно охватило водонепроницаемые глинистые породы, а также зоны питания и разгрузки подземных вод, что привело к резкому возрастанию гидростатического напора в области их транзита и внедрению промерзающего водного потока в мерзлые глинистые породы с образованием пластических и разрывных деформаций. При этом сформировались наземно-подземные наледы [Толстихин, 1966; Швецов, 1981] с максимальной мощностью подземных

частей по окраинам плиты, характеризовавшимся наибольшей тектонической раздробленностью и максимальным напором промерзавших вод. Позднее наземная часть наледей растаяла, оставив после себя обширную сеть вытянутых, нередко очень глубоких озер, а подземная - сохранилась.

Для всех изученных пластовых ледяных тел характерна неровная верхняя поверхность, наличие глинистых отложений в их кровле со специфическими криогенными текстурами и песчаных линз в основании пластов. Детальные геофизические работы в долине р. Сё-Яха и данные многочисленного бурения показали, что на исследованном участке площадью около 10 км<sup>2</sup> развита серия пластовых залежей, залегающих в основании грядобразных повышений, вытянутых в северо-восточном и северо-западном направлениях, совпадающих с развитыми здесь разломами [Анисимова и Крицук, 1983]. Лед вскрыт в интервале абсолютных отметок от +30 до -4 м. По простиранию горизонтальные участки ледяного тела закономерно сменяются куполовидными вздутиями. Лед перекрыт толщей глин, хлоридно-натриевое засоление которых - от 0,2 до 2% - повышает их пластические свойства из-за высокого содержания незамерзшей воды.

В пределах грядобразных повышений, где наблюдается первичный контакт льда с перекрывающими отложениями, под маломощным сильнольдистым покровным слоем залегают слоистые плотные слабольдистые глины с наложенными криогенными текстурами. На контакте льда с породой находится слой мелкооскольчатого грунта, представляющего собой раздавленную плотную слоистую глину с большим количеством мелкозернистого текстурообразующего льда. Как видно на рис. 1, горизонтальные слои на контакте с куполообразными вздутиями деформированы и имеют наклон 20-45°, что отмечается и в краевой части обнажения, и в буровых скважинах на глубине 7-10 м под слоем горизонтально-слоистых глин. В скважинах видно, что выше описанного слоя в плотных ленточно-слоистых глинах и суглинках над ледяными куполами находятся вертикальные сильноожеженные трещины, к которым обычно приурочены клинообразные расширяющиеся книзу ледяные шпилы. Такие трещины часто наблюдаются и в краевой части берегового обнажения р. Сё-Яха с куполообразным ледяным телом свидетельствуя о напорной миграции трещинных подземных вод в прошлом.

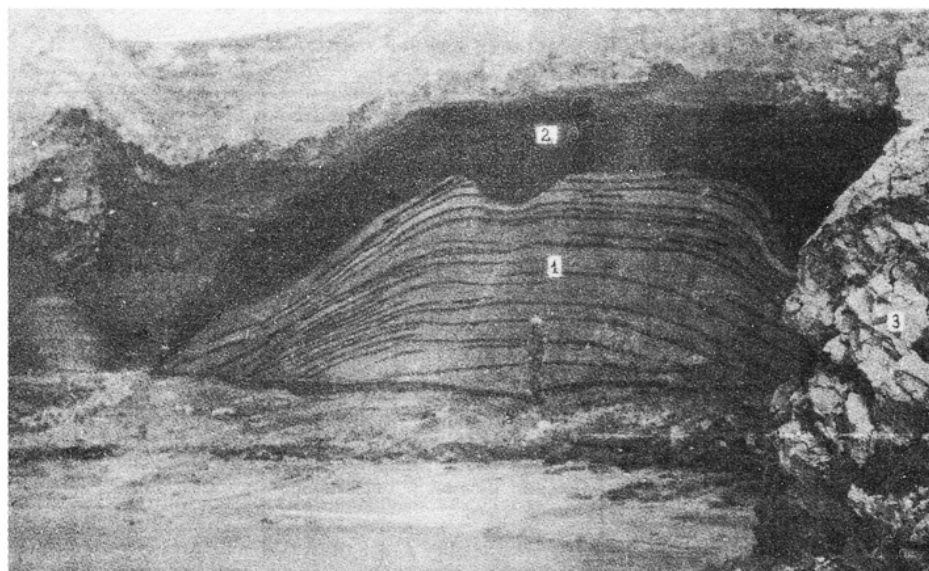


Рис.1. Куполовидное обнажение пластового льда в долине р.Се-Яха (Мутная). 1 - ледяное тело, слоистость подчеркивается включением минеральных частиц и газовых пузырьков; 2 - мелкооскольчатый грунт с мелкозернистым льдом; 3 - деформированные горизонтально-слоистые глины на границе с растаявшим куполом  
Fig.1. Dome-like exposure of massif ice in the valley of Se-Yakhtha (Mutnaya) River

Центральную часть вздутий составляет белый лед с большим количеством газовых включений, а периферийную - наклонно слоистый, иногда с хлопьями ожелезнения. Верхний слой ледяного тела толщиной до 4 м на участках куполообразных вздутий представляет собой ледобрекцию, содержащую до 50% сцементированных льдом обломков остроугольных плотных темно-серых аргиллитоподобных глин размером 2-5 см, нередко ожелезненных. В скважинах видно, что между куполообразными вздутиями ледяного тела прослойки чистого льда чередуются с плотными нельдистыми глинами.

На склоне грядобразного повышения и в пойме р. Сё-Яха фиксируется вторичный контакт льда с грунтом, интенсивное развитие склоновых и термокарстовых процессов, а также следы глубокого размыва перекрывающих лед отложений. Лед здесь залегают на глубине 0,5-2 м под слоем сильнольдистых синкриогенных отложений, представленных мелкими осколками плотных слоистых глин с ожелезненными гранями. По-видимому, эти отложения образовались на месте растаявших ледяных куполов, что подтверждается и результатами химического анализа ледяного расплава [Анисимова и Крицук, 1983].

Неровная верхняя поверхность ледяного тела, наличие куполообразных вздутий, приуроченность прослоев окисного ожелезнения к субвертикальным ледяным шпирям, различие химического состава льда и породы и характер распределения анионно-катионного состава льда в разрезе, наличие во льду включений обломков плотных глин, не характерных для верхней части разреза, свидетельствует об инъекционном, или напорно-миграционном механизме образования льда. Слоистость ледяного тела, по-видимому, вызвана многократными инъекциями вследствие циклического промерзания водовмещающих пород, а куполообразные вздутия указывают на пути инъекции воды.

Наземными геофизическими, горно-буровыми работами и крупномасштабной аэрофотосъемкой выявлены тектоническая обусловленность распределения льда, в том числе крупных залежей, термоэрозионный характер рельефа и широкое развитие палеотермокарстовых процессов. С тектоническими разрывными нарушениями, выраженными в рельефе и гидросети, связана повышенная льдистость, отмечаемая в днищах и верховьях термоэрозионных логов, развитие повторно-жильных льдов в краевых частях озерных котловин и речных долин, а также следы их вытаивания и останцы нельдистых пород - байджарахи, осложняющие борта долин.

Таблица 1

Принципы и методика картирования пластовых залежей подземных льдов

Масштаб картирования	Методы исследований	Используемые материалы	Признаки выделения объектов картирования	Объекты картирования	Размеры объектов картирования
Мелкий: 1:500 000 и мельче	Анализ карт, дешифрирование КС и АФС	Обзорные геолого-тектонические, структурные, геоморфологические и геокриологические карты	Разрывные нарушения, сквозные и внутрикоровые, и места их пересечения; крупные неотектонические структуры; блоковые поднятия в криолитозоне	Зона возможного формирования пластовых залежей	Крупнее 1 км <sup>2</sup>
Средний: 1:200 000 - 1:100 000	Аэровизуальные наблюдения; дешифрирование АФС; бурение	Геологические и геоморфологические карты среднего и мелкого масштаба; фотопланы АФС; карта озерности; карта расчлененности рельефа	Тыловые швы древних уровней; краевые части неотектонических структур 1 порядка; наличие озер; линейные формы рельефа речной и овражно-балочной сети	Участки возможного залегания пластовых залежей	0,5-10 км <sup>2</sup>
Крупный: 1:50 000 - 1:10 000	Дешифрирование АФС; детальные наземные исследования	АФС масштаба 1:25 000 и крупнее; ландшафтная карта	Комплекс термокарстово-термоэрозионных и склоновых процессов и форм рельефа	Скопление ледяных тел, залегающих на разной глубине	0,1-2 км <sup>2</sup>
Планы: 1:2 000 и крупнее	Геофизическая съемка, бурение	Карты изом и топопланы	Обнаружение подземных льдов при бурении и в обнажениях	Ледяной пласт	Десятки и сотни м <sup>2</sup>

Массовыми гидрохимическими и изотопными определениями состава подземных льдов и поверхностных вод установлено, что источником формирования исследуемых ледяных залежей служили подземные воды зоны свободного водообмена, имевшие атмосферное питание и подвергавшиеся криогенной метаморфизации.

Геолого-криологическая природа залежей льда предопределяет необходимость использования для их картирования геолого-структурных и геокриологических карт. В основе картирования пластовых залежей должно лежать типологическое районирование территории по комплексу льдообразующих факторов, к которым следует относить: 1) геолого-структурные особенности района, преобладающий характер тектонических и, особенно, неотектонических движений; 2) наличие и характер разрывных нарушений как в фундаменте, так и внутрикоровых, выраженных в рельефе и гидросети; 3) рельеф поверхности, определяющий положение областей питания и разгрузки древних водоносных горизонтов; 4) состав, генезис и возраст пород, залегающих близко к поверхности; 5) природно-климатическую зональность, определяющую условия формирования, существования и развития многолетнемерзлых пород и подземных вод.

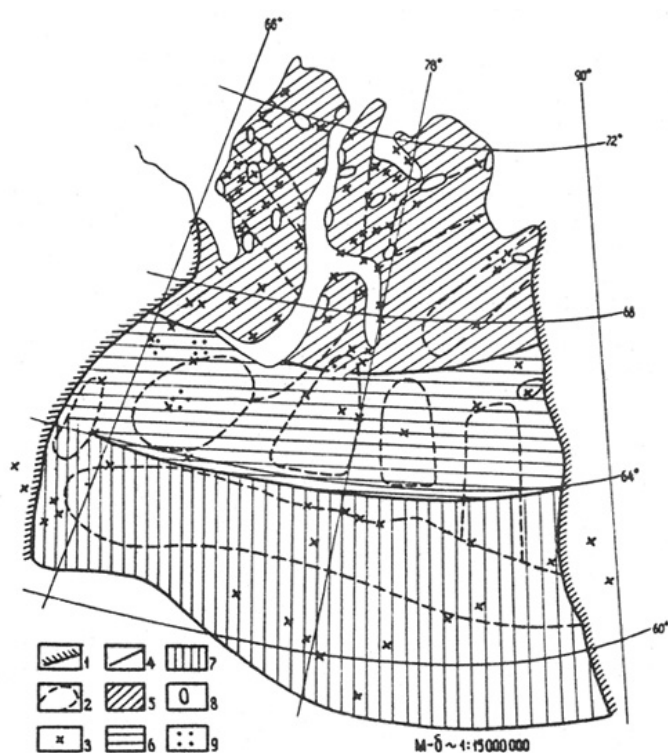


Рис.2. Схема распространения пластовых льдов на севере Западной Сибири, составленная на основе карт структурно-формационных комплексов ВСЕГЕИ, новейшей тектоники И.П.Варламова и мерзлотных зон В.В.Баулина. 1 - структурное обрамление плиты, 2 - краевые части неотектонических структур первого порядка, 3 - места пересечения разломов, 4 - границы мерзлотных зон и подзон, 5 - зона широкого распространения пластовых льдов, залегающих близко к поверхности, 6 - зона развития межмерзлотных вод и глубокого залегания пластовых льдов, 7 - зона широкого развития пластовых льдов в холодные климатические эпохи, 8 - известные обнажения пластовых льдов, 9 - глубокозалегающие пластовые льды

Fig.2. Sketched spreading of massif ice in the north of West Siberia

При картировании в мелком масштабе следует выделять зоны их возможного развития. При этом необходимо учитывать, что наибольшая вероятность существования мощных залежей связана с местами пересечения разломов, обладающими повышенной трещиноватостью, в краевых частях плиты в зоне сплошного развития мерзлоты. Участки, расположенные в краевых частях положительных неотектонических структур первого порядка и в центральных частях плиты, представляют собой зону возможного формирования пластовых залежей меньшей мощности. Наконец, современные гидрогенные талики в зоне прерывистого распространения мерзлоты являются участками их потенциального формирования. На рис.2 видно практически полное совпадение мест залегания известных обнажений пластовых залежей на севере Западной Сибири с районами их вероятного формирования.

При картировании пластовых залежей в среднем масштабе выделяются участки с разной глубиной их залегания. Картируемыми единицами здесь должны являться типы местности, характеризующиеся разной степенью расчлененности рельефа, что связано с неотектоническими процессами.

Поскольку на участках с близким к поверхности залеганием залежей степень озерности территории определяется прежде всего термокарстовыми процессами, для их картирования могут использоваться карты озерности, составленные на ландшафтной основе. Генетическая связь пластовых залежей с разрывной неотектоникой, выраженной в рельефе и гидросети, предопределяет необходимость сплошного дешифрирования аэрофотоснимков, поскольку на

них видны морфоскульптуры, остающиеся после вытаявания на небольшой глубине пластовых льдов, и линейные разрывные нарушения, включающие эти льды. При этом следует обращать внимание на места возможного неглубокого залегания льда, для которых характерны интенсивная эрозия и террасированные склоны в швах неотектонических структур, четковидные русла и линейно расположенные цепи озер, солифлюкционные сплывы, глубокие линейно вытянутые овраги, долины и ложбины. На участках, где ледяное тело вследствие интенсивного развития термоэрозионных процессов подверглось перезахоронению, индикаторами его близкого к поверхности залегания могут служить специфические формы рельефа: термокары, термоэрозионные лога, обилие термокарстовых озер, комплекс свежих солифлюкционных террас. Эти индикаторы должны учитываться при крупномасштабном инженерно-геологическом картировании на ключевых участках.

Наконец, для оконтуривания в плане обнаруженных при наземных работах пластовых ледяных тел, залегающих, как правило, под низкоомными глинистыми породами, могут быть применены геофизические методы исследования - электропрофилирование по частой сетке и вертикальное зондирование в комплексе с бурением неглубоких скважин.

В табл. 1 изложены перечисленные выше принципы картирования пластовых залежей подземных льдов в разных масштабах и методика этих работ, использовавшиеся при региональных инженерно-геологических исследованиях ВСЕГИНГЕО.

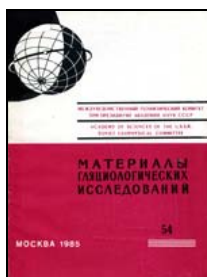
#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Анисимова Н.П., Крицук Л.Н.* Использование криохимических данных при изучении генезиса залежей подземного льда. - Проблемы геокриологии. М., 1983, с. 230-239.
2. *Кузин И.Л.* Новейшая тектоника Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. М., Изд-во ВИНТИ, 1982, 194 с.
3. *Пономарев В.М., Толстихин Н.И.* Подземные воды территории с многолетнемерзлыми горными породами. - Основы геокриологии, ч. 1. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 328-364.
4. *Рудкевич М.Л.* Тектоническое развитие и нефтегеологическое районирование Западно-Сибирской провинции. - Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 92. Свердловск, 1976, 172 с.
5. *Толстихин О.Н.* О некоторых линейных зонах формирования наледей на территории Северо-Восточной Якутии. - Материалы VIII Всес. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению), вып. 3. Якутск, 1966, с.218-225.
6. *Швецов П.Ф.* Живая вода в недрах Севера. М., «Наука», 1981, 86 с.
7. *Шаблинская Н.В.* Разломная тектоника Западно-Сибирской и Тимано-Печорской плит и вопросы нефтегазоносности палеозоя. Л., «Недра», 1982, 153 с.

#### SUMMARY

Long-term geological and geophysical studies conducted over the territory of Western and Central Yamal revealed genetic relationship between massif ice and frozen fissure-bedded underground waters in the zone of free water-exchange. Hypothesis of the origin of such ice has been advanced, stating that the latter is intra-ground geological body, occurring in a specific geological and structural situation during a neotectonic phase of the platform development in course of primary freezing of the territory. The main principles and methods of underground massif ice mapping at different scales have been developed and a sketch of its spreading over the north of Western Siberia has been compiled.

#### Ссылка на статью:



**Крицук Л.Н. Генезис пластовых залежей подземных льдов Западной Сибири в связи с вопросами их картографирования // Материалы гляциологических исследований. 1985. № 54. С. 188-192.**