

Гарагуля Л.С., Гордеева Г.И., Полтев Н.Ф., Смирнов В.В., Боголюбова А.Н.

**О ФОРМИРОВАНИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ПОЙМЫ
НИЖНЕГО ЕНИСЕЯ
(район г. Дудинки)**

При проведении мерзлотных исследований в низовьях р. Енисея (район г. Дудинки) в 1968-1969 гг. было установлено, что наиболее сложными и разнообразными мерзлотными условиями характеризуются пойменные террасы, где многолетнемерзлые породы имеют сложное залегание в плане и разрезе, связанное с наличием сквозных и несквозных таликов, неслювающей мерзлоты и ее новообразований.

Современные условия теплообмена обуславливают существование многолетнемерзлых пород в пределах высокой и низкой поймы и на прибрежной отмели левого берега Енисея. История их образования связана с условиями формирования пойменных террас и с динамикой климата. Формирование высокой поймы началось в голоцене, после выхода I надпойменной террасы из пойменного режима, и происходило при относительном потеплении климата [*Баулин и др., 1967; Шевелева и Хомичевская, 1967*].

Суровый климат сартанского времени сменился в голоцене потеплением, связанным с 10 000-летними колебаниями температуры воздуха. Потепление достигло своего максимума в среднем голоцене. Термический оптимум, по М.П. Нейштадту [*1957*], начался 7700 и окончился 2500 лет назад. П.П. Предтеченский [*1957*] выделяет в среднем голоцене два климатических периода: атлантический и суббореальный. Атлантический период характеризуется увлажненным климатом со среднегодовой температурой воздуха на 2,8-4,0° выше современной. В суббореальный период с сухим климатом среднегодовая температура воздуха была на 2,5° выше современной.

После термического оптимума в верхнем голоцене началось похолодание. Изменения климата в этот отрезок времени связываются с 2000-летними и более короткопериодными его колебаниями.

В.В. Баулин и др. [*1967*] выделяют на протяжении верхнего голоцена 4 фазы изменения климата:

I фаза - похолодание в начале верхнего голоцена, которое вызвало интенсивное промерзание пород;

II фаза - период относительного потепления с максимумом в конце первого тысячелетия новой эры;

III фаза - похолодание, новообразование мерзлоты на протяжении XIV-XVIII вв.;

IV фаза - потепление в середине прошлого века (волна повышения температур в мерзлых толщах распространилась на глубину 50-60 м).

По современным климатическим условиям район исследования относится к области избыточно-влажного климата с суровой зимой и холодным летом. Среднегодовая

температура воздуха равна $-10,6^{\circ}$, амплитуда годовых ее колебаний составляет $43,2^{\circ}$ (средне-десятилетние значения за период 1958-1967 гг.). Продолжительность существования положительных среднесуточных температур изменяется от 90 до 100 дней. Среднее количество осадков в год достигает 440 мм, при этом в течение лета выпадает около 40% всей годовой суммы. Снежный покров лежит в течение 248 дней. Мощность его велика (в среднем 0,7-1,0 м) и распространяется в пределах поймы крайне неравномерно (от 0,2 до 2,0 м).

Анализ мерзлотных условий показал, что формирование многолетнемерзлых толщ на енисейской пойме началось в нижнем голоцене и продолжается в настоящее время. Динамика климата отражена в характерном криогенном строении и мощности многолетнемерзлых толщ.

Изучение современного состояния многолетнемерзлых пород и современных условий теплообмена на их поверхности, сопоставление полученных при этом материалов с указанными выше данными о динамике климата позволили выделить четыре типа многолетнемерзлых толщ. Характеристика этих типов, анализ условий их формирования и является основной целью данной статьи.

Первый тип многолетнемерзлых пород характеризуется наибольшей (для пойменных террас) мощностью и сплошным распространением. Он развит в пределах наиболее возвышенных участков поймы, которые генетически представляют собой собственно прирусловые валы и наложенные прирусловые валы [Лаверушин, 1961], вытянутые параллельно реке. Абсолютные отметки поверхности грив достигают 12 м. Почти повсеместно развиты ивово-ольховые заросли высотой до 3 м. Мощность снега достигает 0,7-1,0 м, только на лишенных кустарника участках она сокращается до 0,5 м.

Многолетнемерзлые породы представлены переслаивающейся толщей песков, супесей и суглинков, в которой наблюдается большая фациальная изменчивость по глубине и простираию. В верхней части разреза (до 3-5 м) многолетнемерзлые породы имеют преимущественно монолитное криогенное строение, суммарная влажность их достигает 25-30%. Ниже, до глубины 15-20 м, для мерзлых пород характерна средне- и редкослоистая криогенная текстура с элементами сетчатой. Толщина шлиров изменяется от 0,5-1,0 до 3-5 см. Суммарная влажность пород (преимущественно суглинков) колеблется в диапазоне 40-60%.

Средняя годовая температура многолетнемерзлых пород на глубине нулевых годовых амплитуд в среднем составляет $-1-2^{\circ}$, понижаясь до -4° на участках, лишенных растительности. Мощность мерзлой толщины по данным ВЭЗ достигает 90 м.

Формирование многолетнемерзлых пород рассматриваемого типа могло начаться, очевидно, в нижнем голоцене по мере их освобождения от воды, когда эти участки находились еще в стадии низкой поймы. К началу термического оптимума максимальная глубина многолетнего промерзания отложений, представленных преимущественно суглинками с высокой влажностью (более 40%), могла достигать 30-50 м согласно расчетам по формуле Стефана [Достовалов и Кудрявцев, 1967], при начальных условиях промерзания, идентичных существующим в настоящее время на низкой пойме (среднегодовая температура пород составляет $-4,0^{\circ}$). Во время термического оптимума, продолжительность которого исчисляется примерно 5000 лет, среднегодовая температура воздуха повысилась в среднем на $3-4^{\circ}$ по сравнению с современными значениями и, следовательно, была не выше $-6,6^{\circ}$. Такое изменение температуры могло бы вызвать оттаивание многолетнемерзлых пород при снежном покрове мощностью не менее 0,7 м, что по аналогии с современными условиями возможно при хорошо развитом кустарниковом покрове. Причем за время оптимума 30-50-метровая мерзлая толща должна была бы оттаять полностью. Противоречит этому допущению тот факт, что мощность мерзлоты в настоящее время превосходит 70-90 м, так как за 2500-3000 лет, прошедшие со времени термического оптимума, глубина многолетнего промерзания пойменных отложений не может превосходить 50 м.

Очевидно, указанные изменения среднегодовой температуры воздуха в период оптимума в процессе формирования многолетнемерзлых пород данного типа сказались на уменьшении скорости промерзания пород на нижней границе многолетнемерзлой толщи, а в отдельных случаях могли приводить и к некоторому временному поднятию последней.

Связанное с потеплением климата (в периоды термического оптимума и II фазы верхнего голоцена) увеличение мощности слоя сезонного протаивания на прирусловых валах не приводило к развитию процесса термокарста, так как верхняя часть разреза до 3-5 м представлена преимущественно песками с суммарной влажностью не более 25%.

Второй тип многолетнемерзлых пород - несливающаяся мерзлота - развит в прирусловой части высокой поймы, слабонаклоненной к озерным котловинам. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 11,0-11,5 м вблизи современного прируслового вала до 9-10 м у кромки котловин. Поверхность покрыта густой кустарниковой растительностью, часто заболочена и осложнена термокарстовыми формами (заболоченные понижения, озера). Густой кустарник и особенности микрорельефа способствуют формированию снежного покрова мощностью 0,7-1,0 м (иногда до 1,5 м).

Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, представлены они переслаивающейся толщей супесей и суглинков. Вблизи прируслового вала в верхней части разреза (до 5,0 м) нередко преобладают пески. До глубины 7-9 м мерзлые породы имеют порфировидную и частослоистую криогенную текстуру. Толщина шлиров не превышает 1 см. Ниже, до глубины 20 м, наблюдается средне- и редкослоистая толстошлировая криогенная текстура с элементами сетчатой. По всему разрезу породы сильно льдистые, суммарная влажность их изменяется от 50 до 65%.

Среднегодовая температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд изменяется от $-0,2^{\circ}$ вблизи озерных котловин до $-0,5^{\circ}$ у прируслового вала. Поверхность многолетнемерзлой толщи залегает на глубине 2,0-3,5 м. Глубина зимнего промерзания пород не превосходит 1,5 м, поэтому к концу зимы остается незамерзшим талый прослой мощностью 0,8-2,0 м. На некоторых наиболее повышенных участках (современный прирусловой вал) происходит смыкание сезонного промерзания пород с поверхностью мерзлой толщи. В этом случае средняя годовая температура пород понижается до $-1,0^{\circ}$.

Мощность многолетнемерзлых пород по данным ВЭЗ колеблется в пределах 50-70 м.

Формирование рассматриваемой мерзлой толщи началось несколько позднее описанного выше первого типа и происходило при более мягком температурном режиме на поверхности отложений. Очевидно, внутренние участки высокой поймы к началу термического оптимума находились в стадии низкой поймы, на которой растительный покров практически отсутствовал, и поэтому мощность снежного покрова была невелика. При этом на поверхности отложений должна была существовать высокая (до $-1,0^{\circ}$) отрицательная среднегодовая температура. Поэтому в период термического оптимума на рассматриваемых участках происходило формирование многолетнемерзлой толщи, отличительными чертами которой были высокая среднегодовая температура, высокая льдистость и небольшой темп промерзания.

Наличие в верхней части разреза многолетнемерзлой толщи пород с высокой льдистостью определило развитие термокарста, протекавшего особенно активно во II фазу изменения (потепления) климата в верхнем голоцене и, возможно, продолжавшегося на отдельных участках в IV фазу. В настоящее время на поверхности внутренних участков высокой поймы встречаются просадочные термокарстовые блюдца с водой и мелкие (10x20 м; 20x50 м) озера.

Образование несливающейся мерзлоты, вернее талого прослоя, разобщающего сезонное промерзание пород с многолетнемерзлой толщиной относится к последней, IV фазе изменения климата, начавшейся в середине прошлого века и характеризующейся повышением температур воздуха.

Третий тип - многолетнемерзлые породы небольшой (до 5-8 м) мощности. Этот тип мерзлоты развит в замкнутых старичных котловинах, расположенных во внутренней части высокой поймы. Котловины ограничены четко выраженным уступом высотой до 6-8 м. От протоков и реки их отделяют участки высокой поймы с абсолютными отметками поверхности 10-12 м, поэтому енисейской водой они могут заливаться лишь при высоких паводках.

Днища котловин довольно плоские, около половины их площади занимают озера различной формы и конфигурации, глубина которых не превышает 1,5-2,5 м. Свободная от озер поверхность заболочена и покрыта разнотравьем и редким низкорослым кустарником. Мощность снежного покрова изменяется в пределах 0,3-0,5 м и лишь у бортов увеличивается до 1,0-1,5 м.

Многолетнемерзлые породы в котловинах приурочены к свободным от воды участкам при условии, что мощность снежного покрова на них не превышает 1,0 м. Именно по этой причине нередко в прибортовых частях котловин, где наблюдаются большие снежные надувы, мерзлые породы отсутствуют. Под озерами распространены сквозные талики. Донные отложения под озерами глубиной более 1,5 м зимой практически не промерзают. Все это приводит к сложному в плане залеганию многолетнемерзлых пород.

Мерзлая толща с поверхности до глубины 1-3 м представлена старинными горизонтально-слоистыми оторфованными суглинками с прослойками торфа и ниже - переслаивающимися супесями и суглинками пойменной фации. Мерзлые породы до глубины 3-5 м имеют частослоистую криогенную текстуру с элементами сетчатой. Толщина шлиров изменяется от долей сантиметра до 1 см. Ниже происходит постепенный переход к средне- и редкослоистой криогенной текстуре с толщиной шлиров от 0,5-1,0 до 7-10 см. Суммарная влажность пород составляет 65-75%. Средняя годовая температура пород изменяется от 0 до -0,5°, редко понижаясь до -0,8-1,0° (на выпуклых участках днищ котловин и буграх пучения). По данным бурения и ВЭЗ, мощность мерзлой толщи не превышает 5-8 м.

Формирование многолетнемерзлых пород в старичных котловинах определяется главным образом развитием этих специфических форм рельефа. Анализ современных условий показал, что нулевая изотерма среднегодовых температур в водоемах проходит на глубине 0,8 м и, следовательно, при глубине старичных озер более 0,8-1,0 м под ними отложения находятся в талом состоянии. Под более мелкими озерами формируются многолетнемерзлые породы. Температурные условия на поверхности почвы на свободных от воды участках определяются среднегодовой температурой в диапазоне от -3 до -5° и годовой амплитудой колебания температур в интервале 14-16° в зависимости от мощности снежного покрова и характера растительности. В этих условиях 5-метровая толща многолетнемерзлых пород (старичные аллювиальные отложения с льдистостью до 75%) может сформироваться за 100-150 лет (данные расчетов по формуле Стефана). Из сказанного следует, что рассматриваемый третий тип многолетнемерзлых пород представляет собой новообразования мерзлоты, формирование которых не связано с похолоданием климата. Начало их образования по времени, очевидно, совпадает с концом III фазы изменения климата и идет в настоящее время по мере освобождения днищ котловин от воды.

IV тип низкотемпературной многолетнемерзлой толщи, продолжающей формироваться в настоящее время, развит на низкой пойме, которая тянется вдоль берега шириной около 150 м. Поверхность поймы наклонена в сторону реки, покрыта редким кустарником и травостоем. Мощность снега изменяется в пределах 0,2-0,5 м, увеличиваясь вблизи уступа высокой поймы до 0,8 м.

Многолетнемерзлая толща имеет сплошное распространение и представлена переслаивающимися супесями, песками и суглинками. Супесчаные и песчаные разности пород характеризуются монолитной и гнездовидной криогенными текстурами,

суглинистые - редко-слоистой с элементами сетчатой (толщина шлиров не превышает долей сантиметра). Суммарная льдистость пород колеблется около 40%. Средняя годовая температура пород равна $-3-4^{\circ}$ и повышается до $-1,0-0,5^{\circ}$ только вблизи меженного уровня реки.

Формирование рассматриваемого типа многолетнемерзлой толщи происходило при суровых условиях на дневной поверхности отложений, о чем свидетельствует низкая среднегодовая температура пород, наблюдаемая в настоящее время в период потепления климата в IV фазу. Тем более низкой она должна была быть в прошлом, в периоды похолодания (I, III фазы изменения климата). Начало формирования многолетнемерзлых пород мы относим к концу среднего голоцена. В соответствии с этим мощность толщи может достигать 50 м и продолжает расти в настоящее время.

В заключение можно отметить, что все рассмотренные типы многолетнемерзлых толщ начинали образовываться в условиях низкой поймы и формировались в течение всего голоцена. Наличие многолетнемерзлых пород в современных условиях под руслом Енисея указывает на то, что промерзание аллювиальных отложений на низкой пойме могло начинаться еще в стадии прибрежной отмели. В зависимости от того, с какой фазой динамики климата совпадал выход участков из-под уровня реки, формировались более или менее льдистые (в верхней части разреза до глубины 15-20 м) многолетнемерзлые толщи. В свою очередь в зависимости от условий промерзания, от льдистости пород и продолжительности промерзания формировалась мощность этих толщ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баулин В.В., Белопухова Е.Б. и др. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. М., «Наука», 1967.
2. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967.
3. Лаврушин Ю.А. Типы четвертичного аллювия нижнего Енисея. «Тр. Геол. ин-та АН СССР», вып. 47. М., Изд-во АН СССР. 1961.
4. Нейштадт М.П. Голоцен на территории СССР. «Тр. комиссии по изучению четвертичного периода», т. XIII. М., Изд-во АН СССР, 1957.
5. Предтеченский П.П. Очерк позднеледниковой и послеледниковой истории климата СССР. «Тр. лаборатории озероведения», т. V. М., Изд-во АН СССР. 1957.
6. Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского Севера. М., «Наука», 1967.

Ссылка на статью:



Гарагуля Л.С., Гордеева Г.И., Полтев Н.Ф., Смирнов В.В., Боголюбова А.Н. **О формировании многолетнемерзлых пород в условиях поймы нижнего Енисея (район г. Дудинки)** // Мерзлотные исследования. 1970. Выпуск X. С. 27-33.