

Модельные расчеты сходятся в главном: при сохранении современных темпов эмиссии климатически-релевантных газов (сценарий RCP8.5) на горизонте 2100 г. деградация мерзлоты на высоких песчаных террасах р. Лены в Центральной Якутии достигнет значительных масштабов. В области распространения межмерзлотных таликов, где влияние повышения температуры воздуха накладывается на конвективный теплоперенос в связанных межмерзлотных водоносных горизонтах, верхний горизонт ММП перестанет существовать приблизительно к концу расчетного периода, т.е. к 2100 г.

Исследования поддержаны РФФИ и Правительством РС(Я), проект №18-45-140029 p_a.

ПЕРЕМЕРЗАНИЕ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

А. М. Тарбеева*, Л. С. Лебедева, В. С. Ефремов**, И. В. Крыленко*,
В. В. Шамоу****

** Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

*** Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия*

FREEZING OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER OF CENTRAL YAKUTIA IN THE CONDITIONS OF MODERN CLIMATE CHANGE

A. M. Tarbeeva*, L. S. Lebedeva, V. S. Efremov**, I. V. Krylenko*,
V. V. Shamov****

** Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*** Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

Аннотация. Перемерзание русел малых рек криолитозоны уменьшает продолжительность периода размыва русла, но приводит к развитию в нем криогенных процессов. В 2016–2019 гг. проведены наблюдения за процессами промерзания и протаивания русла р. Шестаковки, а также проанализировано изменение продолжительности и условий перемерзания реки с 1951 по 2019 гг. по данным гидрологического поста Камырдагыстах и метеостанции Якутск. Установлено, что неравномерное распределение глубин в русле приводит к его неравномерному промерзанию, возникновению криогенного напора и образованию ледовых бугров и локальных подрусовых таликов. За последние полвека вслед за повышением январской температуры воздуха происходит сокращение продолжительности перемерзания русла реки. Повышение зимних температур приводит к снижению мощности ледового покрова, его более быстрому таянию в процессе половодья, снижению интенсивности процессов образования ледовых бугров в русле, уменьшению критической глубины русла, необходимой для формирования подрусового талика. С другой стороны, увеличение частоты и высоты экстремальных паводков в теплый период года может привести к увеличению стока наносов и обмелению четковидных расширений.

Abstract. Freezing of small riverbeds in the permafrost reduces the duration of the channel erosion, but leads to the development of cryogenic processes in the channel. In 2016–

2019, observations were made on the processes of freezing and thawing of the Shestakovka river channel. Changes in the duration and conditions of river freezing from 1951 to 2019 were analyzed according to the data of the Kamyrdagystakh hydrological gauge and the Yakutsk weather station. It is established that uneven distribution of channel depths leads to its uneven freezing, the emergence of cryogenic pressure and the formation of ice mounds and local underchannel taliks. Over the past half-century, following the increase in January air temperature, the duration of riverbed freezing has been reduced. Increasing winter temperatures reduce the ice cover thickness, provides its more rapid melting during the snowmelt, reduce the intensity of ice mounds growing and the critical depth of a channel necessary for the underflow talik formation. On the other hand, an increase in the frequency and height of extreme floods in the warm period can lead to an increase in sediment runoff and filling up of channel extensions.

Введение

Русла малых и средних рек криолитозоны не имеют стока большую часть года. Размывы берегов в этот период не происходят. Однако в зимний период в руслах активно действуют криогенные процессы, механизмы развития которых исследованы недостаточно. Прохождение половодья в промороженном русле также имеет особенности. Климатические изменения последних десятилетий привели к изменению условий формирования русел рек в криолитозоне.

Объект и методы

Река Шестаковка является левым притоком р. Лены в 25 км к югу от Якутска. В нижнем течении, где площадь водосбора реки составляет 170 км², расположен гидрологический пост Камырдагыстах с данными наблюдений с 1951 г. Бассейн реки сложен переувлажненными мелко-среднезернистыми песками, занят сосновыми и лиственничными лесами. Мощность многолетнемерзлых пород достигает 500 м, глубина сезонного оттаивания – от 0,5 до 4 м, около 20 % площади бассейна занято субаэральными водоносными таликами [1]. Река Шестаковка в верхнем течении имеет четковидную форму русла, характеризующуюся чередованием глубоких озеровидных расширений – четок и соединяющих их мелких и узких протоков. Такая форма русла связана с криогенными процессами, чаще всего с термокарстом, и является весьма характерной для равнинных рек криолитозоны [2, 3].

Для выявления процессов, происходящих при промерзании и протаивании русла реки, а также влияния на них климатических изменений, были проведены полевые наблюдения на р. Шестаковке и проанализированы данные наблюдений на гидрологическом посту Камырдагыстах и метеостанции Якутск с 1951 по 2019 гг.

С 2016 по 2019 гг. на двух створах, расположенных в верхнем и нижнем течении реки, проводились автоматизированные наблюдения за уровнем, температурой и электропроводностью воды, состоянием русла при помощи логгеров и фотоловушек, а также наблюдения за температурой горных пород в скважинах, расположенных в русле и на пойме, измерения расходов воды и отбор проб на мутность. В период половодья проводились повторные нивелировки поверхности льда и грунта для определения скорости таяния.

Процессы в русле реки в зимний период

Четковидные расширения русла р. Шестаковки, имеющие глубину от 1,5 до 3 м, зимой не перемерзают полностью, в них сохраняются линзы напорной

минерализованной речной воды глубиной до 2 м, а под ними сохраняются локальные талики мощностью до 4 м, тогда как мелководные сужения русла полностью промерзают, глубина сезонного протаивания под ними составляет 1,5–2 м [2].

При нарастании ледового покрова и промерзании деятельного стоя в расширениях русла образуется криогенный напор, приводящий к образованию над ними ледовых бугров. Чем ниже температура воздуха, тем мощнее речной лед и больше криогенное давление, но короче время его действия и дольше происходит его таяние (табл.). Криогенный напор в ледовых буграх сбрасывается в результате термического расширения льда за 8–16 дней до его размыва потоком.

Интенсивность таяния льда в русле определяется скоростью водного потока, а также температурой воды. Максимальные скорости таяния речного льда и донных отложений наблюдаются по стрежню потока. Температура воды в русле, занятом льдом, может быть положительной в дневные часы. Ее значения зависят от характера разлива и степени затененности долины выше по течению.

Основные характеристики перемерзания четковидного расширения русла размером 14х16 м и глубиной 2,5 м в 2016–2019 гг.

	2016–2017	2017–2018	2018–2019
Криогенный напор в ледовом бугре, Па*10 ⁴	2,67	2,96	1,78
Максимальная мощность льда	86 см	140 см	117 см
Минимальная срочная температура зимы (по м.с. Якутск)**	–45,7	–47,2	–43,3
Продолжительность периода с криогенным напором, дни	181	177	184
Дата протаивания льда в русле	2 мая	8 мая	9 мая
Дата прохождения максимальных расходов воды в половодье	3 мая	7 мая	7 мая
Максимальный расход половодья, м ³ /с	0,944	0,914	0,779

В полностью промерзшем заполненном льдом русле водный поток врежется в ледовую толщу и почти не имеет контакта с берегами. Размыва талых донных отложений в расширениях русла в начале половодья также не происходит, так как сток воды проходит по льду. Следовательно, реальное воздействие потока на русло и руслоформирующие расходы воды в промороженном русле ниже, чем при аналогичном водном режиме в немерзлой зоне. Размыв донных отложений возможен лишь после протаивания льда в русле, поэтому наиболее вероятен во второй части половодья или в летние дождевые паводки.

Гидроклиматические условия и их изменения с 1951 г.

Со второй половины прошлого века в Центральной Якутии наблюдается устойчивое повышение температуры воздуха. С 1951 по 2019 гг. средняя годовая температура по м.с. Якутск увеличилась с 11,5 до 6,8 °С, средняя температура января с 44,9 до 35,7 °С. Среднее годовое количество осадков существенно не изменилось и составляет 239 мм, но увеличилось максимальное суточное количество осадков в летний период. За этот же период продолжительность перемерзания русла сократилась на 24 дня, главным образом за счет смещения сроков замерзания реки с 16 октября на 3 ноября. Сроки начала половодья сместились с 4 мая на 28 апреля. Возросли количество и частота паводков, связанных с увеличением повторяемости высоких значений суточных летних атмосферных сумм осадков.

Средний годовой и максимальный расходы воды р. Шестаковки имеют неустойчивую тенденцию к увеличению. Среднемноголетний максимальный расход р. Шестаковки у г.п. Камырдагыстах составляет 2,8 м³/с. Однако в период наблюдений с 2016 по 2019 гг. максимальные расходы не превысили 1,7 м³/с, то есть были более чем на треть ниже среднемноголетних.

Результаты и их обсуждение

Наличие четковидных расширений русла, определяющее неравномерное распределение глубин, приводит к неравномерному промерзанию русла и сохранению в нем очагов тепла и криогенного давления. Само по себе наличие аномально глубоких участков русла свидетельствует о низкой активности русловых процессов и малом стоке наносов, при которых заполнение расширений русла наносами не происходит. Этому также способствует прохождение половодья по льду.

Повышение зимних температур приводит к снижению криогенного давления на русловый поток, уменьшению продолжительности перемерзания русла, уменьшению толщины речного льда. Однако эти же процессы одновременно с увеличением частоты паводочных событий приведут к большему воздействию потока на русло и увеличению стока наносов. Одновременно стоит ожидать заполнения глубоких расширений русла, уменьшения их глубины и, возможно, их перемерзания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 20-05-00840, 20-35-70027; 18-05-60036 и по плану НИР (ГЗ) АААА-А16-116032810084-0, географический факультет МГУ.

Список литературы

1. Лебедева, Л. С. Надмерзлотные талики в бассейне реки Шестаковка (Центральная Якутия) / Л.С. Лебедева [и др.] // Криосфера Земли. – 2019. – Т. XXIII, № 1. – С. 40–50.
2. Тарбеева, А. М. Условия и процессы формирования чётковидной формы русла малой реки криолитозоны (на примере р. Шестаковки, Центральная Якутия) / А. М. Тарбеева [и др.] // Криосфера Земли. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 38–49.
3. Arp C. D., et al. Distribution and biophysical processes of beaded streams in Arctic permafrost landscapes // Biogeosciences. № 12 (1). 2015. Pp. 29-47.