

## Инженерное освоение низких пойм рек криолитозоны под гражданское строительство: опыт, проблемы, перспективы

Р.В. Чжан, Н.А. Павлова, В.В. Огонеров, А.Л. Лобанов, М.В. Данзанова

*Институт мерзлотоведения им П. И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия  
zhang@mpi.ysn.ru*

**Аннотация.** Рассмотрен опыт возведения намывных массивов грунта в условиях криолитозоны для различных инженерных сооружений: оснований газонефтяных, промышленных и гражданских объектов, грунтовых гидротехнических сооружений, дорог и других. Особое внимание уделено технологии производства работ по созданию основания намывных грунтовых массивов на низкой пойме р. Лена под жилой комплекс г. Якутск (кварталы 202 и 203). Приведены результаты исследований динамики геокриологических условий этой территории в процессе многолетней эксплуатации зданий и инженерных сооружений. Выявлено, что на большей части территории 202 квартала г. Якутск, застройка которого проводилась в 1980–1990-х годах по I принципу, в настоящее время грунты имеют положительные температуры до глубины 10 м и более. На территории 203 квартала надмерзлотные водоносные талики, сформировавшиеся при проведении гидромеханизированных работ в 1990-х годах, спустя 30 лет продолжают повсеместно существовать. Рассмотрены факторы, способствующие сохранению надмерзлотных таликов в теле и основании намывных песчаных массивов. К главным факторам, определяющим формирование температурного поля грунтов, отнесены особые теплофизические свойства обезвоженных намывных песков в верхней части разреза и гидрогеологические условия территории. Проанализированы особенности и перспективы использования намывных грунтов в качестве оснований сооружений и принципы строительства на них. Для контроля и разработки обоснованных рекомендаций по обеспечению устойчивости сооружений рекомендовано организовать комплексный геокриологический мониторинг, включающий и экологические аспекты взаимодействия техногенных систем с окружающей средой.

**Ключевые слова:** криолитозона, грунт, основание, пойма реки, намывной массив, многолетнемерзлые породы, температура, строительство, здание, сооружение, мониторинг.

**Благодарности.** Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ (проект № 20-05-00670).

### Введение

Город Якутск – старейший и самый крупный в криолитозоне, расположен на левом берегу среднего течения р. Лена (рис. 1). Его площадь более 122 км<sup>2</sup>, а население на 01.05.2019 г. составляет более 318 тыс. человек. В сентябре 2020 г. город отметит свое 388-летие. Интенсивный рост его населения с 1970-х годов и дефицит подходящих по инженерно-геологическим свойствам строительных площадок потребовали поиска новых площадей для расширения селитебной территории. В связи с этим встал вопрос об использовании для строительства низкой территории поймы р. Лена. Инженерную подготовку территории решили осуществить с помощью создания массива грунта методом гидромеханизации как наиболее дешевого способа.



**Рис. 1.** Общий вид г. Якутск (январь 2020 г).  
<https://zen.yandex.ru/media/etosibir/samye-holodnye-poseleniia-rossii-5c0f98478f486600b085dcd2>

**Fig.1.** General look of Yakutsk (January 2020).  
<https://zen.yandex.ru/media/etosibir/samye-holodnye-poseleniia-rossii-5c0f98478f486600b085dcd2>

К настоящему времени в пойменной и прибрежных частях р. Лена в г. Якутск построены и эксплуатируются следующие сооружения: Якутская ТЭЦ, возведенная в 30–40-х годах прошлого столетия; причальные стенки и здание речного порта; завод по ремонту тяжелой землеройной техники; городская дамба; ограждающие противопаводковые дамбы; два жилых микрорайона – 202 и 203 кварталы города. Все объекты, кроме 203 квартала, были запроектированы и построены по I принципу использования грунтов в качестве основания. Этот принцип подразумевает, что намывные и подстилающие грунты должны находиться в многолетнемерзлом состоянии в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружений. Однако в процессе многолетней эксплуатации под многими вышеперечисленными объектами грунты оснований постепенно приобрели положительную температуру и используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (II принцип). Причин изменения строительного принципа использования грунтов много: техногенные утечки коммунальных и сточных вод под здания и сооружения; инфильтрация атмосферных осадков в основание сооружений; высокие отрицательные температуры грунтов на пойменной территории; гидравлическая связь городской протоки с основным руслом р. Лена; отепляющее влияние намывного массива на температурный режим грунтов основания; процессы криогенеза, в результате которого изменяются физико-механические и прочностные свойства намывного грунтового массива и другие. Как показали изыскания, инженерно-геокриологические условия низкой поймы и прилегающей первой надпойменной террасы оказались довольно сложными, особенно гидрогеологические – из-за многочисленных гидрогенных таликов различной мощности. Основной задачей выполненных исследований являлось обобщение результатов исследований процессов, происходящих в теле и основании намывных массивов, на которых возведены некоторые из вышеупомянутых сооружений.

#### **Опыт создания намывных массивов в криолитозоне и использование их в качестве оснований сооружений**

Способ возведения земляных сооружений средствами гидромеханизации вне зоны распространения многолетнемерзлых пород известен давно и успешно применяется как за рубежом, так и в

России [1–4]. Этот способ используется при строительстве судоходных и ирригационных каналов; дноуглублении рек; возведении плотин и речных сооружений; добыче строительных материалов – песка и гравия; устройстве полотна дорог и оснований взлетно-посадочных полос, а также при инженерной подготовке территорий для строительства промышленных и гражданских зданий [5–10].

Учитывая активное освоение криолитозоны России в конце XX – начале XXI веков, наметились большие перспективы применения гидромеханизации при создании оснований сооружений. Однако следует отметить, что обобщающих трудов, в которых рассматривается опыт возведения сооружений в криолитозоне методом гидронамыва, весьма мало. Имеются отдельные публикации из опыта возведения некоторых гидроузлов [11, 12] и сооружений инженерной подготовки при обустройстве газонефтяных месторождений в Западной Сибири [13–15] и в г. Якутск при создании искусственных оснований под промышленные сооружения и гражданские жилые комплексы [16–19]. В процессе реализации этих проектов были решены ряд теплофизических задач по технологии намыва, формированию температурно-влажностного режима грунтов плотин в процессе возведения и ряд других технических задач. Эти исследования заложили основы использования метода гидромеханизации при строительстве плотин в криолитозоне. По данным ЗАО «Уренгойгидромеханизация», за период с 1978 по 2006 г. в тело различных сооружений в Западной Сибири уложено свыше 116,9 млн. м<sup>3</sup> песчано-гравийного материала [18]. В г. Якутск при инженерной подготовке оснований сооружений (речной порт, завод по ремонту землеройной техники, 202 и 203 жилые микрорайоны) объем намывного грунта составил около 800 тыс. м<sup>3</sup>.

Успешному применению гидромеханизации для строительства в условиях криолитозоны способствовали научно-практические исследования, которые развивались в следующих направлениях: поиски и разведка месторождений строительных материалов, пригодных для разработки (песок, гравий); создание механизмов и методов разработки карьеров; обоснование и создание теплотехнических основ технологий добычи строительных материалов и разработка технологий возведения надежных сооружений с учетом направленного формирования их устойчивого тем-

пературно-влажностного режима в суровых природно-климатических условиях, включая работы в зимний период [20–22].

### Краткие природно-климатические и инженерно-геокриологические условия низкой поймы р. Лена и намытого массива в г. Якутск

Современные природно-климатические, инженерно-геокриологические, гидрогеологические условия низкой поймы сложные. Климат района резко-континентальный: амплитуда между минимальной и максимальной температурой воздуха равна 102,8 °С. С 1980-х гг. средняя годовая температура воздуха в связи с потеплением повысилась на 3 °С и составляет в настоящее время –7 °С (рис. 2). Количество атмосферных осадков невелико – около 250 мм.

Лена – крупнейшая равнинная река криолитозоны. Ее годовой гидрограф отличается интенсивным подъемом (до 7–11 м) уровня воды во время весеннего половодья и последующими дождевыми паводками в летние и осенние месяцы. Широкая пойма в период половодья затопливается. Русло р. Лена в районе г. Якутск многоорукавное, подвержено разнонаправленным смещениям и осложнено многочисленными островами. Мощность многолетнемерзлой толщи на островах достигает 320 м, а в основном русле р. Лена возможно наличие сквозного талика. Температура многолетнемерзлых грунтов изменяется от 0 до –2 °С, талых – около +0,5 °С. Коренные породы (юрские песчаники, алевриты и аргиллиты) залегают с глубины 60–80 м и перекрыты четвертичными отложениями (разнозернистые пески, гравий, супеси, суглинки) до глубины

20–23 м. Переходная зона между коренными породами и четвертичными дисперсными аллювиальными отложениями представлена разрушенными породами коренной основы.

Особо следует указать на сложные гидролого-гидрогеологические условия низкой поймы р. Лена в районе г. Якутск. Перед освоением территория представляла собой низкую пойму, граничащую с Городской протокой р. Лена. На пойме было большое количество старичных и термокарстовых озер, которые частично или полностью затопливались во время половодий. Рельеф поймы в основном плоский с вытянутыми гривами и понижениями. Участки между гривами были заболочены или заняты староречьями, имели глубину до 3 м и длину до 1–1,3 км. Мощность таликов на ежегодно затопляемой пойме составляла 4,2–9,0 м и более. Инженерно-геокриологические разрезы пойменной территории характеризовались наличием в них мерзлых толщ сливающегося и не сливающегося типов, а также новообразованных мерзлых пород (рис. 3). Под протоками р. Лена развиты надмерзлотные гидрогенные талики мощностью до 30–60 м.

Основные объемы по намыву территории низкой поймы под застройку 202 и 203 кварталов г. Якутск осуществлялись в 1978–1988 гг. В 1990–1992 гг. и в 2012 г. домывали недостающие объемы 203 квартала грунтами руслового аллювия. Мощность намытой техногенной толщи составила от 8,5–10 м на гривах и прирусловых валах до 12–14 м на участках старичных озер и русел.

При намывных работах старичные озера с надмерзлотными водоносными таликами были погребены, а на межозерных пространствах за

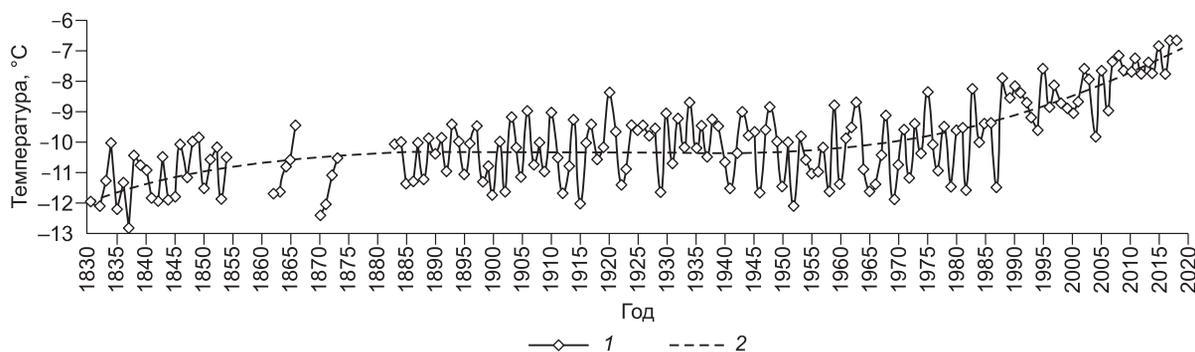
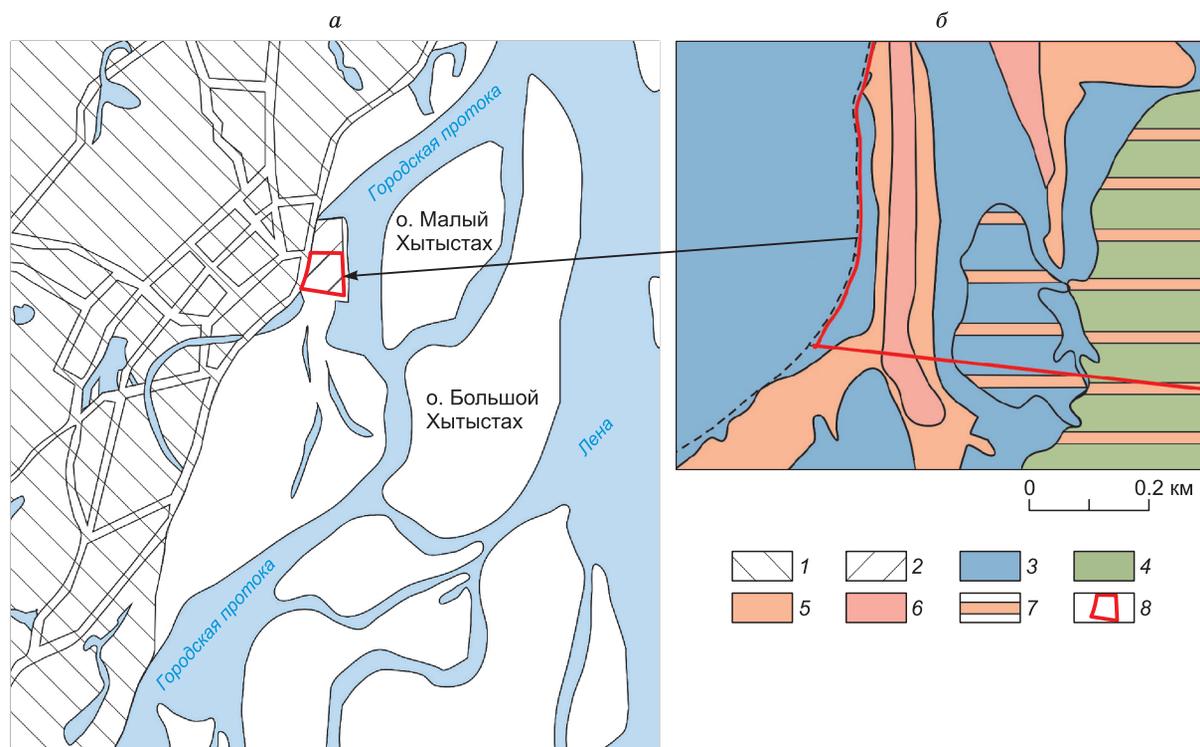


Рис. 2. Многолетняя изменчивость средней годовой температуры воздуха (°С) (1830–2019 гг.) по метеостанции Якутск. 1 – наблюдения, 2 – полином.

Fig. 2. Long-term variability of mean annual air temperature (°C) in 1830–2019 years at the meteorological station of Yakutsk. 1 – measurements, 2 – polynomial.



**Рис. 3.** Фрагмент схемы г. Якутск (а) и Геокриологическая схема пойменной территории р. Лена в период намыва [18] (б): 1 – территория города на низкой надпойменной террасе р. Лены, 2 – пойменно-намывная территория; 3 – сливающаяся мерзлота (поверхность ММП совпадает с нижней поверхностью слоя сезонного протаивания); 4 – несливающаяся мерзлота (поверхность ММП находится глубже нижней поверхности слоя сезонного промерзания, мощность талого прослоя до 1,0–1,2 м); 5–6 – талики, приуроченные к озерным котловинам: 5 – мощностью до 10 м; 6 – мощностью более 10 м; 7 – подчиненное распространение отдельных таликов мощностью до 10 м; 8 – пойменная часть р. Лена, планируемая под застройку 203 квартала г. Якутск.

**Fig. 3.** Fragment of the Yakutsk's map and a sketch map showing permafrost conditions in the floodplain during hydraulic fill placement [18]:

1 – city area on the low above-floodplain terrace of the Lena river; 2 – reclamation floodplain area; 3 – vertically continuous permafrost (the active layer reaches the permafrost table); 4 – vertically discontinuous permafrost (the permafrost table lies deeper than the base of the active layer with a residual thaw layer of 1.0–1.2 m); 5–6 – taliks confined to lake basins: 5 – thickness < 10 m; 6 – thickness 10–15 m; 7 – subordinate distribution of individual taliks < 10 m thick; 8 – floodplain area planned for District 203 development.

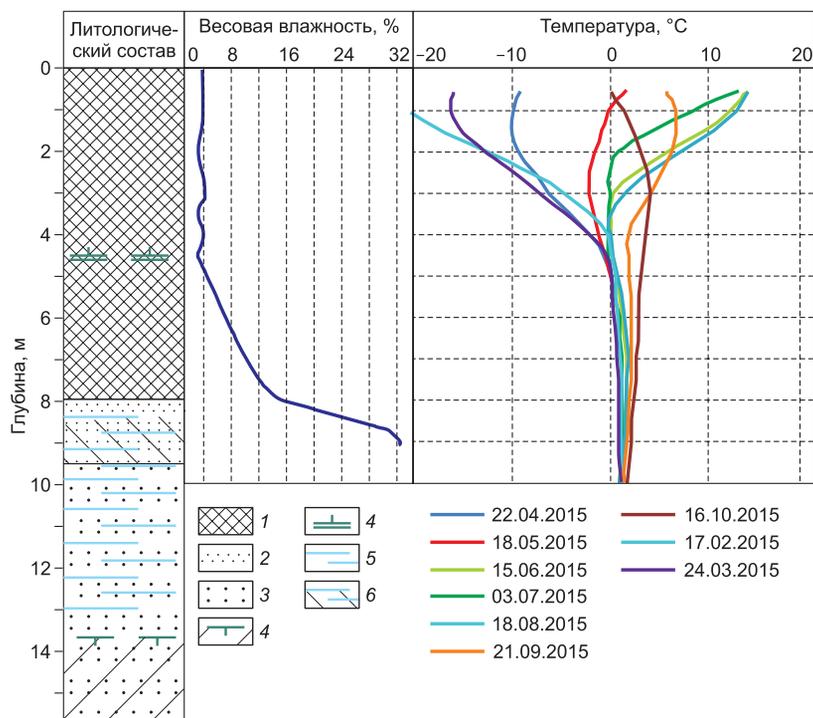
счет высокой температуры пульпы произошло углубление кровли многолетнемерзлых и под 6–8-метровой толщиной техногенного грунта сформировались искусственные водонасыщенные талики мощностью до 3–5 м [18]. Эти техногенные талики сохраняются до настоящего времени (рис. 4). Поверхность намытого массива имеет средние отметки 96–97 м. Общая его площадь составляет 0,97 км<sup>2</sup>, из которых 0,3 км<sup>2</sup> приходится на 202 квартал и 0,67 км<sup>2</sup> на 203 квартал (рис. 5, 6).

### Результаты геокриологических исследований

Перед массовой застройкой 202 квартала г. Якутск, ввиду отсутствия опыта использования намывных территорий со сложными мерзлотно-геологическими условиями, был проведен

комплекс натуральных, лабораторных и экспериментальных исследований. Результаты этих работ послужили основанием для выбора I принципа строительства на пойменно-намывной территории г. Якутск [18]. В качестве фундаментов для жилых домов были предложены следующие их типы: железобетонные столбчатые («колонны с башмаком»), свайные и плитные. В результате натуральных испытаний основным типом фундаментов при застройке 202 квартала были приняты столбчатые, установленные на фундаментные плиты, смонтированные на щебенистой подготовке на глубине 4,0–4,5 м вырытого котлована (мощность намытого массива 12–13 м) [18]. Монтаж такого фундамента показан на рис. 7.

## ИНЖЕНЕРНОЕ ОСВОЕНИЕ НИЗКИХ ПОЙМ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ



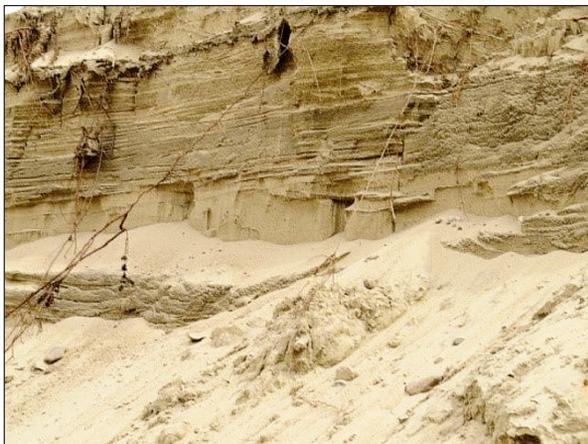
**Рис. 4.** Геокриологическое строение и изменение температуры грунтов на участке погребенного увала: 1–3 – литологический состав пород: 1 – техногенный грунт, песок средний, 2, 3 – аллювиальные отложения: 2 – песок мелкий; 3 – песок средний; 4 – кровля многолетнемерзлых пород; 5 – граница слоя сезонного промерзания; 6 – водоносный горизонт; 7 – интервал сезонных колебаний уровня надмерзлотных вод.

**Fig. 4.** Geocryological structure and temperature ground variations in the areas of buried bars: 1–3 – Soil lithology: 1 – made ground (medium sand), 2, 3 – alluvial deposits: 2 – fine sand; 3 – medium sand; 4 – permafrost table; 5 – base of the seasonal freezing layer; 6 – aquifer; 7 – zone of seasonal groundwater level fluctuations.



**Рис. 5.** Общий вид 202 квартала и намывная строительная площадка 203 квартала г. Якутск в период паводка на р. Лена в мае 2005 г. (красный прямоугольник – территория 203 квартала). Фото А.Н. Цеевой.

**Fig. 5.** General look 202 district and the reclaimed floodplain for 203 district in Yakutsk during a flood period on the Lena river, May 2005 (the red rectangle represents the territory of the 203rd district). Photo by A. N. Tseeva.



**Рис. 6.** Разрез толщи намывных грунтов до глубины 3,5 м на территории 203 квартала. Фото А.Л. Лобанова.

**Fig. 6.** Section of hydraulic fill to a depth of 3.5 m in the 203 district. Photo by A. L. Lobanov.



**Рис. 7.** Монтаж столбчатого фундамента девятиэтажного жилого дома № 9 на территории 202 квартала г. Якутск 23 мая 1988 г. Фото Р.В. Чжана.

**Fig. 7.** Foundation posts mounting of the nine-storey residential building No. 9 in the 202 district of Yakutsk on May 23rd, 1988. Photo by R. V. Zhang.

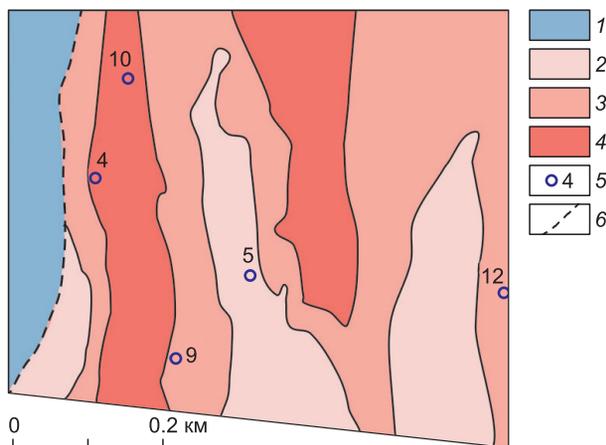
Контрольные измерения температуры грунтов в теле и основании намытого массива после возведения части зданий и сооружений на территории 202 квартала показали, что произошло оттаивание мерзлых грунтов в гривах на 3–5 м и более, а также некоторое повышение их температуры. Считалось, что это случилось из-за нарушения норм эксплуатации строительного комплекса. Однако, не раз случались аварийные утечки воды из тепловыделяющих инженерных сетей в этом микрорайоне уже в процессе эксплуатации построенных зданий. Местами такие утечки приводили не только к полному таянию новообразованных мерзлых толщ, но и к повышению температуры как намытых, так и подстилающих грунтов до высоких положительных значений. Так, под жилыми зданиями № 6, 7 и детского сада № 26 максимальная температура грунтов на глубине 10–14 м достигала 40 °С [18]. Это наглядный пример техногенного прессинга на геокриологические условия.

Мониторинг температурного поля этой новой природно-техногенной системы, выполняемый Институтом мерзлотоведения СО РАН (ИМЗ СО РАН), показал, что в настоящее время на территории 202 квартала слой сезонного промерзания грунтов имеет здесь мощность около 4,5 м. Надмерзлотные субэаральные водоносные талики прослеживаются глубже 10 м, лишь в отдельных местах на глубине 5 м зафиксировано образова-

ние линз многолетнемерзлых пород со средней годовой температурой от –0,3 до –0,6 °С [23]. Кроме этого, при исследовании динамики температурного поля грунтов в 203 квартале, застроенном в 2019 г., установлено, что намытый массив после почти 30-летнего существования находится практически полностью в талом состоянии (рис. 8).

Ранее было высказано предположение о том, что значительную роль в формировании теплового состояния тела и основания намытого массива играет сама намытая толща, так как ее теплопроводность составляет всего 0,5 Вт/(м · °С) [25]. Незначительные мощности намытых песков мало влияют на температурное состояние подстилающих массивов основания, а при их мощности, превышающей слой сезонного промерзания, они становятся теплоизоляторами (рис. 9). В ближайшие десятилетия, при наблюдаемом повышении средней годовой температуры воздуха, увеличения мощности сезонно-мерзлого слоя вплоть до слияния его с многолетнемерзлыми породами не ожидается.

На фоне общего потепления климата другими составляющими теплового баланса, влияющими на формирование теплового режима грунтов низкой поймы и намытого массива, являются надмерзлотные воды погребенных таликов, стариц, а также атмосферные осадки. Наиболее существенным из перечисленных являются над-



**Рис. 8.** Мерзлотно-гидрогеологическая схема 203 квартала г. Якутск (по состоянию на 2015–2019 гг.):

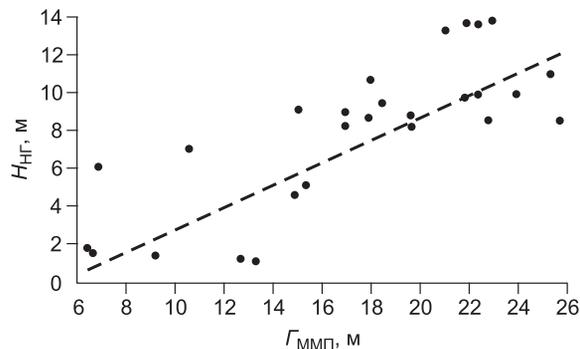
1 – область распространения надмерзлотных вод сезонноталого слоя; 2–4 – надмерзлотные талики с грунтовыми водами: 2 – мощность таликов 10–15 м; 3 – мощность таликов 15–20 м; 4 – мощность таликов более 20 м; 5 – режимная гидрогеологическая скважина и ее номер; 6 – граница между поймой и первой надпойменной террасой р. Лена.

**Fig. 8.** A sketch showing permafrost and groundwater conditions in the District 203 area in 2015–2019:

1 – occurrence of suprapermfrost water of the active layer; 2–4 – suprapermfrost taliks with unconfined groundwater: 2 – talik thickness 10–15 m; 3 – talik thickness 15–20 m; 4 – talik thickness >20 m; 5 – hydrogeological observation borehole and its ID; 6 – boundary between the floodplain and the low river terrace.

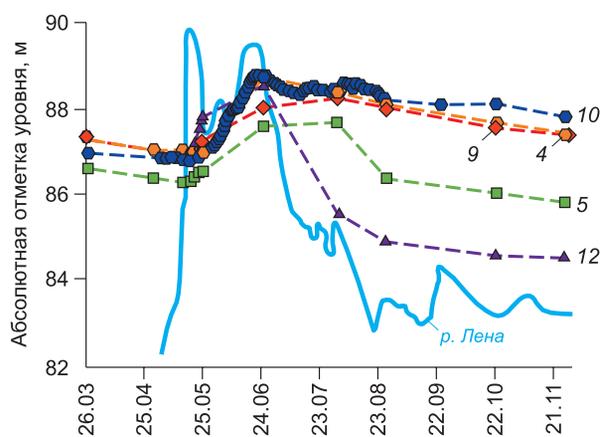
мерзлотные воды, циркулирующие в основании толщи намывных массивов (рис. 10). Гидравлическое давление речных вод, возникающее в периоды паводков, оказывает влияние на гидрогеологические условия массива талых и оттаявших грунтов на намывной территории [18, 24]. Фильтрующиеся по таликам подземные воды насыщают грунты снизу, изменяя их теплофизические свойства.

Кроме того, движение подземных вод обуславливает конвективное перераспределение тепловой энергии в водоносных горизонтах и зонах как по площади, так и по разрезу. Ранее выполненные прогнозные расчеты температурного режима грунтов на намывных территориях г. Якутск предполагали отсутствие непрерывной фильтрации воды в подошве намывного массива и учитывали только теплофизические свойства техногенного слоя [18]. По результатам проведенного моделирования ожидалось постепенное поднятие верхней границы многолетнемерзлых пород и смыкание ее со слоем сезонного протаивания. Однако, в настоящее время на территории сохра-



**Рис. 9.** Зависимость глубины залегания верхней границы многолетнемерзлых пород от мощности намывных грунтов в 203 квартале г. Якутска.

**Fig. 9.** The dependence of the permafrost table depth on the fill thickness in the District 203 area in Yakutsk.



**Рис. 10.** Изменение уровня подземных вод на территории 203 квартала и р. Лена (гидропост г. Якутск) в 2019 г. (символ и цифра – гидрогеологическая скважина и ее номер (см. рис. 8)).

**Fig. 10.** Variations in Lena River water level (Yakutsk), and groundwater level in 2019 year (symbol numbers indicate borehole number (see Fig. 8)).

няется несливающийся тип мерзлоты. Из данных гидрогеологических наблюдений следует, что существование таликовых зон в намывных массивах и их опосредованная связь с р. Лена через подрусловой талик является важнейшим, но пока малоизученным фактором формирования температурного поля пород грунтов оснований сооружений.

Таким образом, совокупность факторов, влияющих на формирование теплового режима грунтов оснований, способствует деградации высокотемпературных и практически безградиентных мерзлых грунтов низкой поймы. При создавшейся инженерно-геокриологической ситуации

возникает вопрос о принципе использования намывных грунтов на низкой пойме р. Лена в качестве оснований. Опираясь на мониторинговые исследования, проведенные ИМЗ СО РАН и другими организациями на территории 202 и 203 кварталов, при застройке 203 квартала г. Якутска был предложен II принцип строительства, с использованием плитных фундаментов [19]. При этом было рекомендовано соблюдать все нормы проектирования и строительства, а именно использовать такие типы фундаментов, которые бы могли воспринимать и перераспределять усилия, вызванные возможной неравномерной осадкой основания.

### Заключение

Геокриологические и гидрогеологические исследования, выполненные на территории 202 и 203 кварталов г. Якутск по прошествии более 30 лет после создания грунтового основания показали, что в теле и основании намывного массива существуют надмерзлотные талики. Мощность их изменяется от 10–15 м на участках погребенных гряд и увалов до 20 м и более на площадях старичных озер. С глубины 8–10 м грунты обводнены.

Среди основных причин сохранения таликов можно выделить две главные: 1) низкая теплопроводность практически сухих песков в верхней части разреза, препятствующая промерзанию грунтов сверху; 2) существование в основании намывной толщи единого водоносного горизонта, связанного с поверхностными водами р. Лена.

Непрерывная фильтрация воды в подошве намывного массива препятствует многолетнему промерзанию грунтов снизу. Количественно оценить роль водоносных таликов в формировании геотермического режима грунтов в условиях техногенного воздействия и влияния изменений климата на температуру грунтовых оснований зданий и инженерных сооружений является главной задачей дальнейших режимных наблюдений. В связи с этим неотъемлемой частью освоения намывных территорий должен являться комплексный геокриологический и гидрогеологический мониторинг. Основным результатом подобного мониторинга будет являться разработка и внедрение новых норм проектирования и строительства инженерных сооружений на пойменно-намывных территориях криолитозоны.

### Литература

1. Волнин Б.А. Технология гидромеханизации в гидротехническом строительстве. М.; Л.: Энергия, 1965. 200 с.
2. Мелентьев В.А., Колпашиников Н.П., Волнин Б.А. Намывные гидротехнические сооружения. М.; Л.: Энергия, 1973. 237 с.
3. Огурцов А.И. Намыв земляных сооружений. М.: Стройиздат, 1974. 366 с.
4. Кожневиков Н.Н. Проектирование и строительство земляных плотин. М., 2014. 80 с. <http://issuu.com/belbooks/docs/russiandams>
5. Новиков М.Ф., Каминская В.И., Седых Ю.И. Намыв территорий для жилищного и промышленного строительства. М.: Стройиздат, 1978. 98 с.
6. Кушнир С.Я. Об использовании намывных территорий под строительство в Западной Сибири // Мат-лы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы и экономика строительства на намывных территориях». Киев, 1980. С. 52–56.
7. Винокуров Е.Ф., Карамышев А. С. Строительство на пойменно-намывных основаниях. Минск: Выш. школа, 1980. 200 с.
8. Глотова М.А. Намывные песчаные грунты киевского района как основание зданий и сооружений. Авторе. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1984. 21 с.
9. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и проектированию оснований зданий и сооружений на намывных территориях. М.: ВНИИОСП, 1985. 38 с.
10. Коновалов П.А., Кушнир С.Я. Намывные грунты как основание сооружений. М.: Недра, 1991. 256 с.
11. Биянов Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте. М.: Энергия, 1975. 184 с.
12. Чжан Р.В., Великин С.А., Кузнецов Г.И., Крук Н.В. Грунтовые плотины в криолитозоне России /отв. ред. Д.М. Шестернев. Новосибирск: Гео, 2019. 427 с.
13. Вассерман С.Н. Инженерная подготовка заболоченных территорий для строительства в нефтедобывающих районах Западной Сибири. М.: ВНИИОЭНГ, 1978. 85 с.
14. Рекомендации по производству работ способом гидромеханизации при сооружении земляного полотна в районах вечной мерзлоты. М.: ЦНИИС, 1981. 88 с.
15. Леванов Н.И. Разработка песчаных карьеров на крайнем севере Сибири // Материалы Второго съезда гидромеханизаторов России. М., 2000. С. 101–104.
16. Полещук В.Л. Подготовка площадок строительства на вечной мерзлоте способом намыва грунтов оснований // Матер. научного совещ. по развитию

производительных сил Якутской АССР. Якутск, 1981. С. 10–15.

17. *Инженерно-геологические* изыскания, проектирование и устройство оснований и фундаментов на намывных территориях в условиях Центральной Якутии. ВСН 110-003-88. М.: Минвостокстрой СССР, 1988. 43 с.

18. Роман Л.Т., Цернарт А.А., Полецук В.Л., Цеева А.Н., Леванов Н.И. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне. М.: ИД «Экономика, Строительство, Транспорт», 2008. 323 с.

19. Шестернев Д.М., Чжан Р.В., Кузьмин Г.П. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне Якутии // Международная конференция «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы». Тюмень: Эпоха, 2015. С. 432–435.

20. Попов Ю.А., Росцупкин Д.В., Пеняскин Г.И. Гидромеханизация в северной климатической зоне. Л.: Стройиздат, 1982. 224 с.

21. Цернарт А.А. Сооружение земляного полотна в криолитозоне: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. М.: НИИ транспортного строительства, 1998. 97 с.

22. Цернарт А.А. Обоснование рациональной технологии намыва земляных сооружений при отрицательных температурах воздуха // Труды ЦНИИС. Вып. 24. М., 1968. С. 12–28.

23. Сыромятников И.И., Куницыкий В.В. Особенности температурного режима намывных песков микро-района № 202 г. Якутска // Мат-лы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Т. 2. Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. С. 282–285.

24. Павлова Н.А., Данзанова М.В., Ефремов В.С., Иванова Л.Д. Изучение гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод на намывной территории г. Якутска // Мат-лы VI ВПНК «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-востока России» / отв. ред. Л.И. Полуфунтикова. Якутск: ИД СВФУ, 2016. С. 512–516.

25. Шестернев Д.М., Чжан Р.В., Кузьмин Г.П. Эколого-геокриологические условия строительства на намывных грунтах // Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов. Новосибирск: Наука, 2017. С. 16–24.

*Поступила в редакцию 04.03.2020*

*Принята к публикации 24.05.2020*

#### *Об авторах*

ЧЖАН Рудольф Владимирович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, <https://orcid.org/0000-0001-9038-3360>, [zhang@mpi.ysn.ru](mailto:zhang@mpi.ysn.ru);

ПАВЛОВА Надежда Анатольевна, кандидат геолого-минералогических наук, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ведущий научный сотрудник, 677010, Якутск. ул. Мерзлотная, 36, <https://orcid.org/0000-0001-5473-7778>, [pavlova@mpi.ysn.ru](mailto:pavlova@mpi.ysn.ru);

ОГОНЕРОВ Василий Васильевич, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ведущий инженер, 677010, Якутск. ул. Мерзлотная, 36, <https://orcid.org/0000-0002-4032-1744>, [vasvas392@yandex.ru](mailto:vasvas392@yandex.ru);

ЛОБАНОВ Артем Леонидович, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, младший научный сотрудник, 677010, Якутск. ул. Мерзлотная, 36, [art2356-1991@yandex.ru](mailto:art2356-1991@yandex.ru);

ДАНЗАНОВА Марина Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, научный сотрудник, 677010, Якутск. ул. Мерзлотная, 36, <https://orcid.org/0000-0002-2559-7590>, [dmv\\_1585@mail.ru](mailto:dmv_1585@mail.ru)

#### *Информация для цитирования*

Чжан Р.В., Павлова Н.А., Огонеров В.В., Лобанов А.Л., Данзанова М.В. Инженерное освоение низких пойм рек криолитозоны под гражданское строительство: опыт, проблемы, перспективы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 2. С. 87–97. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-7>

## Civil construction on low floodplains in permafrost regions: experience, problems, prospects

R.V. Zhang, N.A. Pavlova, V.V. Ogonerov, A.L. Lobanov, M.V. Danzanova

*Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia  
zhang@mpi.ysn.ru*

**Abstract.** *The experience of inwashed soil development under the conditions of permafrost is considered for various engineering structures: the foundations of gas-oil, industrial and civil facilities, soil hydraulic facilities, roads, etc. Particular attention is paid to the technology of construction of the foundation of inwashed soil on the low floodplain of the Lena river for the residential complex of the Yakutsk city (quarters No. 202 and 203). The results of studies into the dynamics of the geocryological conditions over this territory during the long-term operation of buildings and engineering structures are presented. It was revealed that in the major part of the territory of quarter No. 202 in Yakutsk, which was constructed in the 1980–90s according to the 1st principle, at present the ground has a positive temperature at a depth of 10 m and deeper. At the territory of quarter No. 203, suprapermafrost aquiferous taliks, were formed during hydro-mechanical works in the 1990s, and they still exist everywhere after 30 years. The factors that contribute to the preservation of suprapermafrost taliks in the body and base of the inwashed soil are considered. The main factors determining the formation of the soil temperature field include distinct thermophysical properties of dry inwashed sands in the upper part of the section and the hydrogeological conditions of the territory. The features and prospects of inwashed soil exploitation as the structure foundations and the principles of construction on them are analyzed. To control and develop robust recommendations for ensuring the sustainability of structures, it is necessary to organize comprehensive geocryological monitoring, including ecological aspects of the interaction between technogenic systems and the environment.*

**Key words:** cryolithozone, soil, base, river floodplain, hydraulic fill, permafrost, temperature, construction, building, structure, monitoring.

**Acknowledgements.** *This study was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Research project no. 20-05-00670).*

### References

1. *Volnin B.A.* Tekhnologiya gidromekhanizatsii v gidrotekhnicheskom stroitelstve. M.; L.: Energiya, 1965. 200 p.
2. *Melent'ev V.A., Kolpashnikov N.P., Volnin B.A.* Namyvnye gidrotekhnicheskie sooruzheniya. M.; L.: Energiya, 1973. 237 p.
3. *Ogurtsov A.I.* Namyv zemlyanyh sooruzhenij. M.: Strojizdat, 1974. 366 p.
4. *Kozhevnikov N.N.* Proektirovanie i stroitelstvo zemlyanyh plotin. M., 2014. 80 p. <http://issuu.com/belbooks/docs/russiandams>
5. *Novikov M.F., Kaminskaya V.I., Sedyh Yu.I.* Namyv territorij dlya zhilishchnogo i promyshlennogo stroitelstva. M.: Strojizdat, 1978. 98 p.
6. *Kushnir S.Ya.* Ob ispolzovanii namyvnyh territorij pod stroitelstvo v Zapadnoj Sibiri // Mat-ly Respublikanskoj nauchno-tekhneskoj konferencii «Perspektivy i ekonomika stroitelstva na namyvnyh territoriyah». Kiev, 1980. P. 52–56.
7. *Vinokurov E.F., Karamyshev A.S.* Stroitelstvo na poimennenno-namyvnyh osnovaniyah. Minsk: Vysh. shkola, 1980. 200 p.
8. *Glotova M.A.* Namyvnye peschanye grunty kievskogo rajona kak osnovanie zdaniy i sooruzhenij. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, 1984. 21 p.
9. *Rekomendacii po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam i proektirovanii osnovanij zdaniy i sooruzhenij na namyvnyh territoriyah.* M.: VNIIOESP, 1985. 38 p.
10. *Konovalov P.A., Kushnir S.Ya.* Namyvnye grunty kak osnovanie sooruzhenij. M.: Nedra, 1991. 256 p.
11. *Biyarov G.F.* Plotiny na vечноj merzlotte. M.: Energiya, 1975. 184 p.
12. *Chzhan R.V., Velikin S.A., Kuznetsov G.I., Kruk N.V.* Gruntovye plotiny v kriolitozone Rossii / otv. red. D.M. Shesternev. Novosibirsk: Geo, 2019. 427 p.
13. *Vasserman S.N.* Inzhenernaya podgotovka zabolochennyh territorij dlya stroitelstva v nefte dobyvayushchih rajonah Zapadnoj Sibiri. M.: VNIIOENG, 1978. 85 p.

14. *Rekomendacii* po proizvodstvu rabot sposobom gidromekhanizatsii pri sooruzhenii zemlyanogo polotna v rajonah vechnoj merzloty. M.: CNIIS, 1981. 88 p.
15. *Levanov N.I.* Razrabotka peschanyh karierov na krajnem severe Sibiri // *Materialy Vtorogo s'ezda gidromekhanizatorov Rossii*. M., 2000. P. 101–104.
16. *Poleshchuk V.L.* Podgotovka ploshchadok stroitelstva na vechnoj merzlotte sposobom namyvva gruntov osnovanij // *Mater. nauchnogo soveshch. po razvitiyu proizvoditelnyh sil Yakutskoj ASSR*. Yakutsk. 1981. P. 10–15.
17. *Inzhenerno-geologicheskie* izyskaniya, proektirovanie i ustrojstvo osnovanij i fundamentov na namyvnyh territoriyah v usloviyah Central'noj Yakutii. VSN 110-003-88. M.: Minvostokstroj SSSR, 1988. 43 p.
18. *Roman L.T., Cernant A.A., Poleshchuk V.L., Ceeva A.N., Levanov N.I.* Stroitelstvo na namyvnyh gruntah v kriolitozone. M.: ID: «Ekonomika, Stroitelstvo, Transport», 2008. 323 p.
19. *Shesternev D.M., Chzhan R.V., Kuzmin G.P.* Stroitelstvo na namyvnyh gruntah v kriolitozone Yakutii // *Mezhdunarodnaya konferenciya «Arktika, Subarktika: mozaichnost, kontrastnost, variativnost kriosfery»*. Tyumen: Epoha, 2015. P. 432–435.
20. *Popov YU.A., Rosshchupkin D.V., Penyaskin G.I.* Gidromekhanizatsiya v severnoi klimaticheskoi zone. L.: Strojizdat, 1982. 224 p.
21. *Tsernart A.A.* Sooruzhenie zemlyanogo polotna v kriolitozone. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk. M.: NII transportnogo stroitelstva, 1998. 97 p.
22. *Tsernart A.A.* Obosnovanie racionalnoi tekhnologii namyvva zemlyanyh sooruzhenij pri otritsatelnyh temperaturah vozduha // *Trudy CNIIS*. Iss. 24. M., 1968. P. 12–28.
23. *Syromyatnikov I.I., Kunicky V.V.* Osobennosti temperaturnogo rezhima namyvnyh peskov mikrorajona No. 202 g. Yakutska // *Mat-ly VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Geologiya i mineralno-syrevye resursy Severo-Vostoka Rossii*. Vol. 2. Yakutsk: Izdatelstvo Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Melnikova SO RAN, 2018. P. 282–285.
24. *Pavlova N.A., Danzanova M.V., Efremov V.S., Ivanova L.D.* Izuchenie gidrodinamicheskogo i gidrohimicheskogo rezhima podzemnyh vod na namyvnoj territorii g. Yakutska // *Mat-ly VI VPNK «Geologiya i mineralno-syrevye resursy Severo-vostoka Rossii» / otv. red. L.I. Polufuntikova*. Yakutsk: ID SVFU, 2016. P. 512–516.
25. *Shesternev D.M., Chzhan R.V., Kuzmin G.P.* Ekologo-geokriologicheskie usloviya stroitelstva na namyvnyh gruntah // *Prikladnye ekologicheskie problemy g. Yakutska: sbornik nauchnyh trudov*. Novosibirsk: Nauka, 2017. P. 16–24.

#### *About the authors*

ZHANG Rudolf Vladimirovich, doctor of technical sciences, Chief Researcher, P.I. Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 36 Merzlotnaya Str., Yakutsk, 677010, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9038-3360>, [zhang@mpi.ysn.ru](mailto:zhang@mpi.ysn.ru);

PAVLOVA Nadezhda Anatolievna, candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher, P.I. Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 36 Merzlotnaya Str., Yakutsk, 677010, <https://orcid.org/0000-0001-5473-7778>, [pavlova@mpi.ysn.ru](mailto:pavlova@mpi.ysn.ru);

OGONEROV Vasily Vasilievich, lead engineer P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-4032-1744>, [vasvas392@yandex.ru](mailto:vasvas392@yandex.ru);

LOBANOV Artem Leonidovich, junior researcher, P.I. Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 36, Merzlotnaya Str., Yakutsk, 677010, Russia, [art1991-2356@yandex.ru](mailto:art1991-2356@yandex.ru);

DANZANOVA Marina Viktorovna, candidate of geological and mineralogical sciences, researcher, P.I. Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 36, Merzlotnaya Str., Yakutsk, 677010, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2559-7590>, [dmv\\_1585@mail.ru](mailto:dmv_1585@mail.ru)

#### *Citation*

*Zhang R.V., Pavlova N.A., Ogonerov V.V., Lobanov A.L., Danzanova M.V.* Civil construction on low floodplains in permafrost regions: experience, problems, prospects // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020. Vol. 25, No. 2. P. 87–97. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-7>