

УДК 551.345

## ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕРЗЛОТНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Варламов С.П., Скрыбин П.Н.**

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: vsp@mpi.ysn.ru*

Экспериментальные исследования на участке распространения пород ледового комплекса выявили увеличение глубины сезонного протаивания и повышение температуры грунтов на прилегающей к железной дороге просеке. Установлено поднятие верхней границы многолетнемерзлых пород под высокой насыпью и низкой насыпью с теплоизолирующим материалом, отсыпанных в зимний сезон. Отмечено формирование чаши протаивания при отсыпке нулевой насыпи в теплый период с удалением сезонноталого слоя в её основании. Предложены мероприятия обеспечивающие устойчивость земляного полотна.

**Ключевые слова:** мерзлотная экосистема, природно-техническая система, глубина сезонного протаивания, температура грунтов

## TRANSFORMATION OF FROZEN PARTS ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND TECHNICAL SYSTEMS

**Varlamov S.H., Scriabin P.N.**

*Permafrost Institute Melnikov RAS, Yakutsk, e-mail: vsp@mpi.ysn.ru*

Experimental investigations conducted in the area of ice-rich permafrost have demonstrated increases in seasonal thaw depths and ground temperatures along the railroad right-of-way. The permafrost table has elevated beneath high embankment sections, as well as beneath insulated low embankments placed during the winter season. Thaw bulbs have formed where a ground-level embankment was constructed in the summer season with removal of the active layer. The paper presents measures to prevent embankment instability.

**Keywords:** permafrost ecosystem, geotechnical structure, seasonal thaw depth, ground temperature

Железнодорожная линия Томмот-Кердем-Нижний Бестях на 692–734 км пересекает участок распространения пород ледового комплекса, где льдистость достигает 0,7–0,8 дол. ед. Состав и криогенное строение грунтов изучены достаточно подробно. Это наиболее сложный для строительства и эксплуатации железной дороги участок (Варламов, 2006; Обеспечение надежности..., 2007).

Для проведения мониторинга за изменением мерзлотных компонентов экосистем в системе железнодорожное полотно – окружающая среда в 2007–2010 гг. были оборудованы 7 поперечных профилей в районе пикетов: 6926, 6932, 6934, 7087, 7088, 7089, 7179. Бурение скважин и их оборудование для режимных температурных наблюдений под основанием земляного полотна были проведены после вырубке просек трассы и до начала их отсыпки, в районе ПК 7179 – после возведения нулевой насыпи, а на окружающей территории (просека, лес) во время возведения насыпи.

В работе анализируется трансформация мерзлотных параметров грунтов на просеке трассы железной дороги и под основаниями высоких, низких и нулевых насыпей.

В теплый сезон 2010 г. строителями сооружены из скального грунта следующие насыпи разных конструкций в районе пикетов: ПК 6926 – насыпь высотой 7 м с установкой на бермах сезоннодействующих ох-

лаждающих устройств (СОУ) до глубины 4 м; ПК 6932 – насыпь высотой до 2,5–3,0 м с установкой на бермах СОУ и укладкой на основании бермы и насыпи теплоизоляционного материала из пеноплекса толщиной 5 см и шириной 8 м; ПК 6934 – насыпь высотой 7 м; ПК 7179 – нулевая насыпь из скального грунта высотой 2,2 м с заменой грунта сезоннопротаивающего слоя.

### Результаты исследований и их обсуждение

В районе ПК 6926 на маревом участке увеличение глубины сезонного протаивания грунтов в естественных условиях в 2011 г., по сравнению с 2007 г. составило 16–22%, на просеке у основания насыпей – 32–52%.

На мари вырубке просеки трассы проведена весной до схода снежного покрова. В середине сентября 2007 г. мощность сезонно-талого слоя (СТС) составила 1,02–1,12 м. К концу теплого сезона 2008 г. мощность СТС увеличилась по сравнению с предыдущим сезоном на 0,1–0,2 м, температура грунтов в глубинах 3 и 5 м повысилась на 0,1 и 0,2–0,3 °С.

В апреле 2009 г. на этом участке строители начали отсыпку насыпи до отметки высотой 1,5–2,0 м. К осени верхняя граница многолетнемерзлых пород оказалась приподнятой под осью земляного полотна на 1,0 м, а под бермами на 0,5 м.

К концу теплого периода 2010 г. под отсыпанной 7-метровой насыпью остается талый слой мощностью 0,3–0,5 м, температура грунтов под основанием насыпи еще имеет тенденцию к охлаждению. В много-снежную зиму 2010/11 гг. температура грунтов под насыпью, вследствие позднего срока фазовых переходов, охладилась позднее и в конце теплого сезона 2011 г. по сравнению с 2010 г. повысилась на 0,2...0,8°C. Интенсивный охлаждающий эффект в первый год, по-видимому, объясняется отсыпкой насыпи в зимнее время на мерзлые грунты, а потеря этого эффекта на второй год – отепляющим влиянием тела высокой насыпи на подстилающие грунты в предыдущий летний сезон. К концу теплого периода 2011 г. мощность сезонноталого слоя у основания левой бермы достигла 1,55 м, правой бермы – 1,35 м.

В районе ПК 6932 вырубка просеки трассы проведена весной 2007 г. до схода снежного покрова. Здесь динамика глубины протаивания грунтов на просеке показывает ее четкое ежегодное увеличение (рисунок). Глубина сезонного протаивания грунтов на пятый год (2011 г.) после вырубки леса увеличилась по сравнению с естественным фоном (лес) в 1,4–2,2 раза, достигая верхнюю кровлю повторно-жильных льдов, залегающих здесь с глубины 1,6–4,7 м. Это объясняется тем, что полоса просеки отличается от лесного участка большей открытостью и соответственно наибольшим приходом солнечной радиации. Такая тенденция увеличения глубины сезонного протаивания на просеках в ближайшие годы может сопровождаться оттаиванием повторно-жильных льдов и оказать негативное влияние на устойчивость земляного полотна.



*Динамика глубины протаивания грунтов в районе ПК 6932*

Зимой 2008/2009 гг. в период отсыпки насыпи грунты заметно начали аккумулировать холод до глубины 4–5 м. К концу летнего периода 2009 г. по температурным данным верхняя граница многолетнемерзлых пород по оси трассы была приподнята на 1 м, а под откосами бермы заметно меньше (0,5 м). В зиму 2009/2010 гг. грунты под основаниями насыпи охладилась по-разному. По сравнению с предыдущей зимой грунты под правой бермой на глубине 5 м охладилась на 1,2°C, а под осью трассы и под левой бермой температура повысилась соответственно 0,1 и 0,2°C. Это, по-видимому, объясняется скоплением надмерзлотных вод сезонноталого слоя у левой бермы, сопровождающихся большими потерями тепла на фазовые переходы и теплоизолирующей ролью пеноплекса под осью трассы. В конце летнего сезона по температурным данным под осью трассы и под откосами берм верхняя граница многолетнемерзлых

пород сохранилась на уровне предыдущего сезона. Температура грунтов под правой бермой в 5-метровом слое охладилась по сравнению с предыдущим сезоном на 0,1–0,3°C, а под основанием левой бермы повысилась на 0,1–0,8°C и под осью насыпи на 0,1°C. В зиму 2011 г. промерзающие грунты под осью насыпи сомкнулись в конце сезона, поэтому аккумуляция холода была минимальной, чем в грунтах под левой и правой бермами. В теплый период 2011 г. в температурный режим грунтов почти не изменился. Следует отметить, что под влиянием надмерзлотных вод сезонноталого слоя под откосами левой бермы температура грунтов на отметке 0,2 м имеет тенденцию к повышению. В 2011 г. мощность СТС у основания левой бермы составила 1,54 м, правой бермы 1,35 м.

В районе пикета 7179 бурение и оборудование термических скважин произведено в конце августа 2009 г. после возведения

земляного полотна с выемкой грунтов сезоннопротаивающего слоя. Во время бурения скважин глубина протаивания от поверхности насыпи составляла 2,5–3,0 м при мощности скального грунта 2,2 м. И так, здесь искусственно создана чаша протаивания грунтов в основании насыпи. Это подтверждают и температурные данные. Так, в зимний сезон 2009/10 гг. в теле насыпи на глубине 1,5 м температура понижается до  $-5,0^{\circ}\text{C}$ , а в летний сезон она повышается до  $4,6-7,1^{\circ}\text{C}$ . В итоге грунты на глубине 5 м остаются стабильно высокотемпературными ( $-1,1...-1,3^{\circ}\text{C}$ ). По расчётам нулевая изотерма находилась глубже 2 м и, по-видимому, здесь промерзающий слой не смыкается с многолетнемерзлыми породами. В 2011 г. температура грунтов на глубине 5 м повысилась на  $0,2-0,4^{\circ}\text{C}$  по сравнению с 2009 г.

### Выводы

За период наблюдений глубина сезонного протаивания на просеке трассы продол-

жает увеличиваться, а температура верхних горизонтов многолетнемерзлых пород повышаться, что угрожает устойчивости земляного полотна.

Для обеспечения устойчивости насыпи необходимо накопление запасов холода в её теле и грунтах основания, поднятие верхней границы многолетнемерзлых пород. Рекомендуется постоянное удаление снежного покрова с поверхности насыпи, или его уплотнение, также постоянное уплотнение снега на просеке у земляного полотна. Отсыпку насыпи необходимо проводить только в зимний период.

### Список литературы

1. Варламов С.П. Льдистость грунтов северного участка проектируемой железной дороги Томмот-Кердем (ст. Олень – ст. Кердем) // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения: материалы Международной конференции. – Тюмень: Тюм ГНГУ, 2006. – Т. 2. – С. 212–214.
2. Обеспечение надежности строящихся сооружений железнодорожной линии Томмот-Кердем на участке «ледового комплекса» (Материалы семинара-совещания 11–12 сентября 2007 г. в г. Якутске). – Якутск: ООО «Центр Транстройиздат», 2007. – 165 с.