

## МЕРЗЛОТНО-ЛАНДШАФТНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТРАССЫ СТРОЯЩЕЙСЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ТОММОТ–КЕРДЕМ

**И.С. Васильев, С.П. Варламов, А.Н. Федоров, М.Н. Железняк**

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 1, Россия, fe@mpi.ysn.ru*

Дается краткая характеристика особенностей рельефа, распространения и мощности многолетне-мерзлых толщ, температуры горных пород на подошве слоя годовых теплооборотов, мощности сезонно-талого и сезонномерзлого слоев и льдистости мерзлых рыхлых отложений по семи выделенным физико-географическим районам. Указаны наиболее опасные процессы, которые могут проявляться при проложении трассы и отсыпке насыпи полотна железной дороги. Предлагаются оптимальные варианты проложения трассы железной дороги на ее северной части и некоторые рекомендации относительно мер, принимаемых для предохранения от негативного воздействия процессов, вызванных нарушением природной среды.

*Физико-географический район, природно-территориальные комплексы, мерзлотные ландшафты, параметры характеристик мерзлотных условий, мерзлотно-геологические процессы*

### PERMAFROST-LANDSCAPE SYSTEM OF THE TOMMOT–KERDEM RAILWAY ROUTE AREA

**I.S. Vasiliev, S.P. Varlamov, A.N. Fedorov, M.N. Zheleznyak**

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 1, Russia, fe@mpi.ysn.ru*

The paper presents a brief summary of relief peculiarities, distribution and thickness of permafrost, ground temperature at the depth of zero annual variation, depths of seasonal frost and active layer and ice content of frozen soils in seven physiographic regions. The most hazardous processes that could develop during route and embankment construction are identified. The most optimal ways for laying the railway route in its northern section are proposed, and preventive measures against negative impacts of the processes caused by environmental disturbance are recommended.

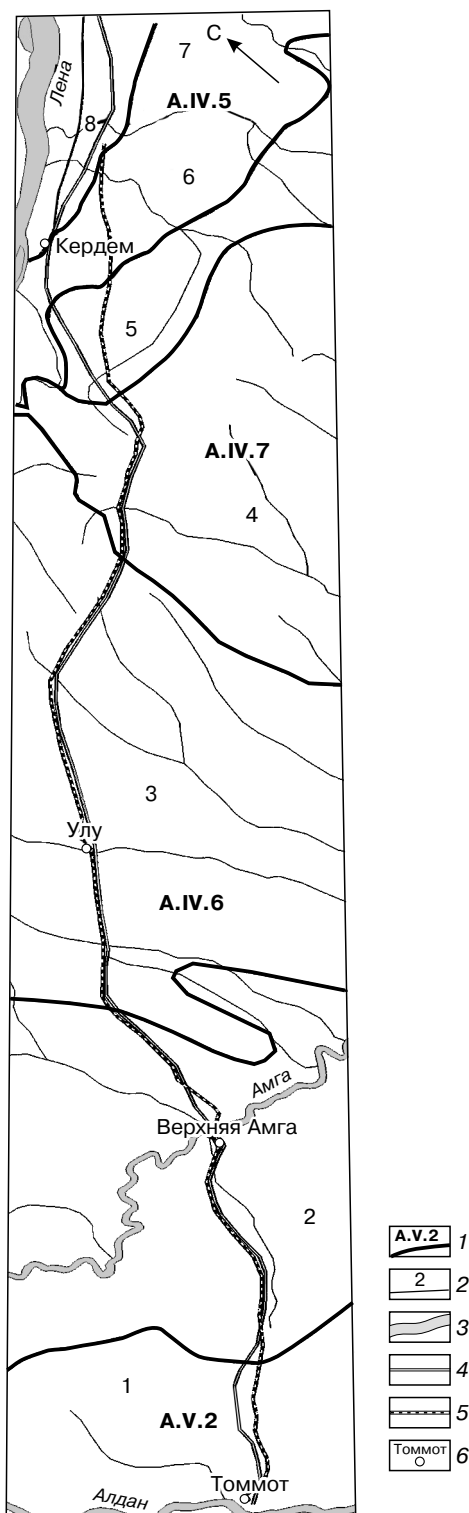
*Physiographic region, terrain unit, permafrost landscape, permafrost parameters, frost-related processes*

Строящаяся в настоящее время железная дорога Томмот–Кердем протяженностью 377 км проходит между параллелями 59–62° с.ш. и меридианами 127–130° в.д. и пересекает три геолого-геоморфологические структуры: денудационное (среднее и низкое) плато на карбонатных породах нижнего кембрия, структурно-наклонное низкое плато на терригенных породах юры и аккумулятивную низменную равнину. Абсолютные высоты колеблются от 100 до 600 м.

Согласно районированию мерзлотно-ландшафтной карты Якутии [Мерзлотно-ландшафтная..., 1991], на территории, пересекаемой трассой строящейся железной дороги, выделены четыре физико-географические провинции: в пределах денудационного плато – Олекмо-Алданская увалистая (А.V.2) и Лено-Алданская карстовая (А.IV.6); в пределах структурно-наклонного низкого плато – Амгино-Алданская пологоувалистая (А.IV.7); в пределах аккумулятивной низменной равнины – Лено-Амгинская аласная (А.IV.5). При выделении физико-географических провинций за основные критерии приняты геолого-геоморфологические особенности, обуслов-

ленные тектоническими структурами и характером распространения многолетнемерзлых пород [Федоров, 1991].

Для проектирования и выбора трассы железной дороги, пересекающей обширные территории, наиболее универсальной таксономической единицей районирования региональных ландшафтных комплексов является физико-географический район, который включает оптимальный набор сочетаний природных условий и типологических ландшафтных комплексов. Так, физико-географический район выделяется после дифференциации типологических природно-территориальных комплексов (ПТК) по специфике их набора. В проведении такого районирования использован сопряженный анализ природных факторов, где основными критериями выделения являются геологические (литологические варианты) и геоморфологические (морфоструктуры среднего порядка) особенности [Босиков и др., 1985; Федоров, 1991]. В пределах вышеупомянутых четырех физико-географических провинций, в свою очередь, выделены семь районов, в одном из которых два подрайона (рис. 1, 2).



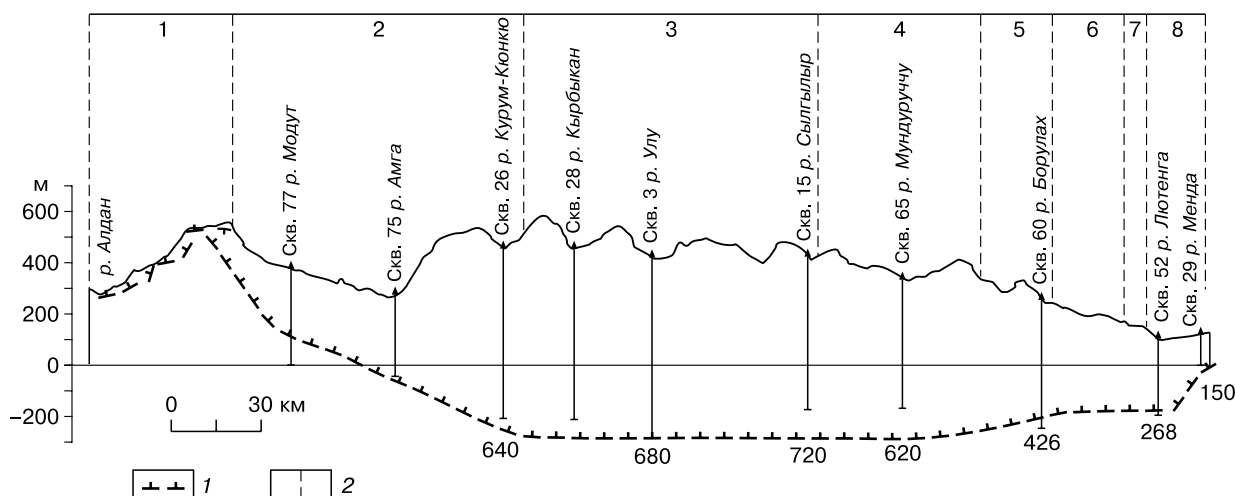
**Рис. 1. Физико-географическое районирование трассы строящейся железной дороги Томмот–Кердем:**

1 – номера и границы провинций; 2 – номера и границы районов (подрайонов); 3 – реки; 4 – автодорога; 5 – трасса магистали железной дороги; 6 – населенные пункты.

Как показали ранее проведенные исследования на стадиях ТЭО и ОВОС, трасса железной дороги проходит в особо сложных инженерно-геокриологических условиях [Федоров и др., 1983; Босиков и др., 1985; Скрябин и др., 1992; Бойцов, 1996; Шендер и др., 1997; Кондратьев, Позин, 2000; Варламов и др., 2002; Проектирование..., 2005]. Их сложность обусловлена рядом опасных природных процессов и явлений, особенно криогенных, сочетание которых контрастно дифференцируется по тем же семи физико-географическим районам.

1. Приалданский ступенчато-останцовый доломитовый район (см. рис. 1, А.V.2-1) занимает восточную часть Олекмо-Алданской провинции на участке трассы железной дороги с 376 по 423 км и отличается резко выраженной ступенчатостью рельефа, прерывистостью распространения многолетнемерзлых пород и относительной дренированностью останцовых поверхностей, ограничивающих проявление карста. Многолетнемерзлые породы мощностью до 30 м развиты на затененных склонах и в нижних частях склонов, а также в днищах мелких долин, а талые – на дренированных плакорах и теплых склонах. Развитие талых пород индицируется ареалом распространения сибирской кедровой сосны и смешанного леса из сосны, лиственницы, осины и березы, а также высокобонитетного прямоствольного соснового леса с подлеском рябины. В целом по району температура пород ( $T_{п}$ ) варьирует от  $+1,0$  до  $-2,0$  °С, глубина сезонного промерзания грунтов ( $\xi_{СМС}$ ) – от 2,0 до 3,5 м, а глубина сезонного протаивания ( $\xi_{СТС}$ ) – от 0,8 до 2,5 м. Трасса железной дороги проходит по подножиям склонов и днищам мелких долин, где при нарушении поверхностей могут активизироваться солифлюкция, подвижка курумов, пучение грунтов и термопросадки. Здесь для мерзлых рыхлых отложений мощностью до 5–10 м характерны текстурообразующие льды, за счет которых объемная льдистость многолетнемерзлых пород в относительных единицах изменяется от 0,2 до 0,6. На участках, где трасса проходит по подножиям склонов, требуется принятие мер для предохранения от наледообразования, смыва насыпи и оснований. Нахождение карьеров в непосредственной близости от полотна железной дороги выше по склону нежелательно, так как после экскавации отсыпного материала карьерная выемка становится искусственной ловушкой для скопления поверхностных и грунтовых вод, которые могут образовать направленный сток в сторону насыпного полотна, что может негативно сказаться на его устойчивости [Константинов, Покрышка, 2005].

2. Лено-Алданский увалисто-водораздельный доломитовый район (А.IV.6-2), который занимает территорию между пикетами 423–531 км, так же как и в первом районе, отличается глубоким рас-



**Рис. 2. Профиль распространения и мощности многолетнемерзлых толщ вдоль трассы железной дороги Томмот–Кердем:**

1 – нижняя граница многолетнемерзлых пород; 2 – границы физико-географических районов (подрайонов); 1–8 – номера районов (подрайонов).

членением рельефа. Здесь днища долин рек Якутский Укулан, Модут, Амга, Курум-Кюкю по сравнению с приводораздельными останцами врезаны до глубины 200–250 м. Характерно преобладание протяженных пологих ступенчатых поверхностей ниже средних частей склонов, где делювиально-пролювиальные отложения, как правило, покрыты гигрофильными мхами, а узкие гряды и небольшие пятачки высокоподнятых останцов хорошо дренированы. Карст развит ограниченно, но он может активизироваться при удалении почвенно-растительного покрова ландшафтов. Здесь мерзлые породы мощностью от 50 м на юге до 650 м на севере в основном имеют сплошное распространение. Вместе с тем на нарушенных поверхностях (на участках, подверженных лесным пожарам и вырубке леса) формируются неглубокие инфильтрационно-радиационные талики. В целом по району  $T_{II}$  изменяется от +0,5 до -3,5 °С,  $\xi_{СМС}$  – от 2,3 до 3,5 м,  $\xi_{СТС}$  – от 1,2 до 3,0 м. Лыдность пород в зависимости от изменения ландшафтных условий варьирует от 0,2 до 0,6. При повсеместном распространении поверхностных суглинистых отложений на склонах инфильтрации надмерзлотных вод практически не происходит, а идет площадной сток. Все это приводит к заболачиванию подножий склонов и днищ мелких долин, вызывая торфообразование, пучение и льдонасыщение в пролювиально-аллювиальных отложениях. При нарушении поверхности склонов неизбежны солифлюкция, оплывины, оползания, термопросадки, плоскостной и струйчатый смывы, а также наледообразование. На участках, где крутые склоны при-

мыкают к трассе железной дороги, необходимо часто уложить водопропускные трубы поперек железнодорожного полотна.

3. Лено-Амгинский увалисто-холмистый известняково-карстовый район (А.IV.6-3, на участке трассы железной дороги между пикетами 531–630 км), в пределах которого рельеф относительно менее расчленен, отличается развитием карстовых форм рельефа. Здесь заметно увеличение площади слабодренированных поверхностей плакоров. Глубина вреза долин относительно останцовых поверхностей составляет 100–150 м. Наблюдается неглубокое залегание карбонатных пород на плакорях и верхних частях склонов. Район характеризуется развитием сплошной криолитозоны расчетной мощностью от 650 до 720 м с неглубокими пирогенными таликами на плакорях и привершинных частях склонов южной экспозиции при  $T_{II}$ , изменяющейся от +0,5 до -3,5 °С,  $\xi_{СМС}$  – от 2,5 до 3,2 м,  $\xi_{СТС}$  – от 0,8 до 2,5 м. Менее лыдисты (0,2–0,3) породы, слагающие плакоры и верхние части склонов западной ориентации, наиболее лыдисты (0,4–0,6) днища долин и затененные склоны. Повсеместно развит как поверхностный, так и глубинный карст. При нарушении поверхностей, где прокладывается трасса железной дороги, проявляются оползание, оплывины, солифлюкция, термопросадки, пучение, плоскостной и струйчатый смывы. В структуре ландшафтов района преобладают склоны западной и восточной ориентаций. Из них, как было сказано выше, менее лыдистыми являются склоны западной экспозиции, а наиболее благоприятными для прокладки железной доро-

ги – их привершинные и верхние части. Здесь местный карьерный материал для отсыпки насыпи из известняков и доломитов не очень подходит, так как он может выщелачиваться, размокать, течь и смываться.

Лено-Амгинский пологоволнистый песчаниковый район по контрастному различию рыхлых составляющих подразделяется на два подрайона.

4. Лено-Амгинский собственно песчаниковый подрайон (А.IV.7-4, на участке трассы железной дороги от 630 до 688 км) представляет собой слабоборасчлененное плато на песчаниках юры с пылеватыми песками, сильнокоагулированными. Он характеризуется сплошной криолитозоной расчетной мощностью 600–620 м с инфильтрационно-радиационными неглубокими таликами на гаях при  $T_{\text{п}}$ , изменяющейся от +0,2 до –4,0 °С,  $\xi_{\text{СТС}}$  – от 0,7 до 2,3 м,  $\xi_{\text{СМС}}$  – от 2,5 до 3,0 м. На плакорах и пологих склонах представлены текстурообразующие подземные льды. На склонах и в днищах ложбин стока под сезоннопротаивающим слоем развит маломощный (0,5–2,0 м) льдистый горизонт, льдистость грунтов составляет 0,3–0,4. Слабая дренированность поверхностей вызывает их постоянное увлажнение за счет атмосферных осадков. Широко развиты солифлюкция, термокарст. На склонах и днищах долин, где выходят известняки и доломиты нижнего кембрия, развит карст. Для нарушенных ландшафтов характерны термопросадки, оплывины, струйчатый и плоскостной смывы. Наиболее благоприятными участками проложения трассы железной дороги являются относительно малольдистые урочища плакоров и верхние части пологих склонов западной экспозиции.

5. Верхнелютенгский переходный песчаниковый подрайон (А.IV.7-5, 688–702 км) отличается от предыдущего тем, что песчаники юры перекрыты более мощным чехлом покровных полигенетических суглинистых отложений, содержащих повторно-жильные льды. Многолетнемерзлые породы мощностью 400–600 м имеют сплошное распространение. Местами на относительно дренированных плакорных участках, подверженных некогда лесным пожарам, встречаются неглубокие инфильтрационно-радиационные талики. Температура пород  $T_{\text{п}}$  варьирует в пределах –0,5...–4,0 °С,  $\xi_{\text{СТС}}$  изменяется от 1,0 до 2,0 м. На склонах и плакорах льдистость многолетнемерзлых пород за счет текстурообразующих льдов изменяется от 0,3 до 0,7, а на участках с повторно-жильными льдами она возрастает до 0,8. Широко развиты солифлюкция и термокарст. Для нарушенных ландшафтов характерны термопросадки, оплывины, струйчатый и плоскостной смывы. Поскольку плакоры сложены юрскими породами и перепады высот небольшие, трассу железной дороги целесообразно проложить по приводораздельным поверхностям.

6. Лютенго-Ленский аласный супесчано-суглинистый район (А.IV.5-6, 702–734 км) состоит из высоких надпойменных террас р. Лены, сложенных озерно-аллювиальными отложениями, содержащими значительный объем залеже- и текстурообразующих подземных льдов и обладающими при их оттаивании просадочностью и текучестью. Пространства, занятые высокими надпойменными террасами, называются межаласьями, а отложения, содержащие повторно-жильные льды, – ледовым комплексом [Соловьев, 1959]. Поверхность озерно-аллювиальной равнины переработана термокарстовыми и эрозионными процессами, что привело к образованию типичной аласной и аласно-долинной морфоскульптуры. Льдистость горных пород за счет текстурообразующих льдов составляет 0,4–0,5. Однако следует отметить, что в этих ПТК могут встречаться как остатки неполностью протаявших повторно-жильных льдов, так и их маломощные новообразования. На межаласьях пространствах широкое распространение имеют повторно-жильные льды вертикальной мощностью 10–15 м, где суммарная объемная льдистость отложений достигает 0,8. Мощность многолетнемерзлых пород варьирует от 300 до 420 м при  $T_{\text{п}}$ , изменяющейся от 0 до –4,0 °С,  $\xi_{\text{СТС}}$  – от 0,7 до 2,9 м, а  $\xi_{\text{СМС}}$  в аласных отложениях составляет 2,5–3,0 м. На нарушенных поверхностях широко развит озерный термокарст. Поскольку район развития так называемого ледового комплекса наиболее опасен для строительства железной дороги, на протяжении участка от 690 до 734 км рекомендуется провести рубку леса под полосу трассы и отсыпку насыпи в холодный период. Здесь после строительства железной дороги в период ее эксплуатации в целях затенения поверхности почвы и уменьшения глубины сезонного протаивания, обеспечивающих устойчивое термическое состояние ПТК, рекомендуется срезание стволов и ветвей кустарников и древесных пород восстановительных сукцессий до высоты 1,5 м на просеках вдоль насыпи полотна железнодорожной магистрали.

7. Бестяхский песчано-грядовый район (А.IV.5-7, 734–745 км) занимает четвертую и пятую надпойменные террасы р. Лены. Следует отметить, что сюда условно отнесен участок песчано-грядового подрайона аласного района (V надпойменная терраса), с поверхности сложенного перевеянными эоловыми песками. Район отличается сложными гидрогеологическими и мерзлотными условиями. Здесь широко развиты над- и межмерзлотные водоносные талики. Вследствие этого толща многолетнемерзлых пород имеет сложное, местами слоистое, строение. Мощность мерзлых толщ составляет 150–300 м. Величина  $T_{\text{п}}$  варьирует от +0,5 до –6,5 °С,  $\xi_{\text{СТС}}$  – от 0,4 до 4,0 м, а  $\xi_{\text{СМС}}$  на локальных участках – от 2,5 до 4,0 м.

Льдистость пород изменяется за счет текстурообразующих льдов от 0,25 до 0,40. Для песчаных гряд характерны суффозионные и термоэрозионные формы рельефа. В днищах мелких долин и на межрядовых низинах формируются сезонные и многолетние бугры пучения. В пределы этого района, как известно, входит зона питания, транзита и разгрузки вод источников, которая отнесена природоохранными организациями к охраняемым памятникам природы. Поэтому предложен обходной вариант прокладки трассы железной дороги, выходящий за пределы этой зоны.

8. Приленский долинно-лесостепной супесчано-песчаный район (745–755 км) занимает низкие надпойменные и пойменные террасы современной долины р. Лены. Для пойменной части долины характерно выклинивание мерзлой толщи в виде “kozyрька” и развитие подстаричных и подруслых таликов, обусловленных гидрологическим режимом Лены. Мощность мерзлой толщи по мере удаления от руслового потока увеличивается от первых десятков метров до 250–300 м. Величина  $T_n$  варьирует от 0 до  $-3,5$  °С (достоверными данными о температуре талых пород не располагаем),  $\xi_{СТС}$  – от 1,2 до 3,5 м, а  $\xi_{СМС}$  на локальных участках – от 2,5 до 4,0 м. Льдистость многолетнемерзлых аллювиальных песков за счет сегрегационных и инъекционных льдов изменяется от 0,35 до 0,50.

В заключение отметим следующее.

1. Мерзлотно-ландшафтное районирование территории, по которой проходит трасса строящейся железной дороги Томмот–Кердем, проведено по геолого-геоморфологическому признаку, т. е. по различиям литологических вариантов и геоморфоструктур среднего порядка и по своеобразному набору типологических комплексов.

2. По выделенным физико-географическим районам дается краткая характеристика особенностей рельефа, распространения и мощности многолетнемерзлых толщ, температуры горных пород на подошве слоя годовых теплооборотов, мощности сезонноталого и сезонномерзлого слоев и льдистости мерзлых рыхлых отложений.

3. Отложения ледового комплекса с максимальной объемной льдистостью (0,6–0,8) на участке трассы от 688 до 734 км, подверженные наибольшей тепловой осадке после техногенного воздействия, являются неустойчивыми основаниями полотна железной дороги. Здесь льдистые горизонты, находящиеся на глубине 2–3 м, очень опасны при устройстве насыпей и выемок. В таких условиях строительство железной дороги требует принятия особого технического решения.

4. Предложены оптимальные варианты проложения трассы железной дороги по плакорам и верхним частям склонов западной ориентации, где объемная льдистость пород не превышает 0,2–0,3,

в пределах Лено-Амгинского известняково-карстового и Лено-Амгинского песчаникового районов, а также обходной вариант, проходящий за пределами зоны питания источников в Бестяхском песчано-рядовом районе.

5. Рекомендованы некоторые меры предостережения при строительстве железнодорожного полотна: а) необходима частая укладка водопропускных труб там, где крутые склоны примыкают к трассе железной дороги и где формируются техногенные наледи, – на участках трассы от 385 до 390 км, от 450 до 480, от 484 до 486, от 490 до 510 км и т. д.; б) карьеры для подготовки отсыпного материала должны находиться в отдалении от полотна железной дороги; в) местный материал из известняков и доломитов для отсыпки насыпи не пригоден, так как для него характерно выщелачивание, размокаемость, текучесть и смываемость; г) в период эксплуатации железной дороги на просеках вдоль насыпи полотна в целях затенения поверхности почвы и уменьшения глубины сезонного протаивания срезку стволов и ветвей кустарников и древесных пород восстановительных sukcesий необходимо производить до высоты 1,5 м.

## Литература

- Бойцов А.В.** Особенности режима источников пресных вод Центральной Якутии в свете экологии транспортного строительства // Криолитозона и подземные воды Сибири. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1996, с. 46–62.
- Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н.** Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. Якутск, кн. изд-во, 1985, 124 с.
- Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н.** Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2002, 218 с.
- Кондратьев В.Г., Позин В.А.** Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга строящегося железнодорожного пути Беркакит–Томмот–Якутск. Чита, ИПК “Забтранс”, 2000, 84 с.
- Константинов И.П., Покрышка Д.Ю.** Обследование состояния участка железнодорожной насыпи в районе г. Томмот // Проектирование и строительство земляного полотна железной дороги Томмот–Кердем в сложных инженерно-геокриологических условиях. Итоги инженерных изысканий в 2005 г.: Материалы науч.-техн. совета 7–8 декабря 2005 г. в г. Якутске. М., Проекттрансстрой, 2005, с. 65–66.
- Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР.** Масштаб 1:2 500 000 / Отв. ред. П.И. Мельников. М., Комитет геодезии и картографии СССР, 1991, 2 л.
- Проектирование и строительство земляного полотна железной дороги Томмот–Кердем в сложных инженерно-геокриологических условиях. Итоги инженерных изысканий в 2005 г.:** Материалы науч.-техн. совета 7–8 декабря 2005 г. в г. Якутске. М., Проекттрансстрой, 2005, 118 с.
- Скрябин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б.** Оценка изменений температурного режима грунтов при нарушении природных условий // Рациональное природопользование в криолитозоне. М., Наука, 1992, с. 165–173.

**Соловьев П.А.** Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М., Изд-во АН СССР, 1959, 144 с.

**Федоров А.Н.** Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. Якутск, Ин-т мерзловедения СО РАН, 1991, 140 с.

**Федоров А.Н., Босиков Н.П., Васильев И.С.** Мерзлотно-ландшафтная характеристика проектируемой трассы железной дороги на участке Томмот–Якутск // Географические исследования в Якутии. Якутск, Ин-т мерзловедения СО АН СССР, 1983, с. 92–96.

**Шендер Н.И., Бойцов А.В., Скрябин Л.Н., Варламов С.П.** Мерзлотно-инженерно-геологические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации АЯМа // Комплексные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог в условиях Крайнего Севера: Докл. науч.-техн. конф. Т. 1. Хабаровск, ДВГУПС, 1997, с. 87–93.

*Поступила в редакцию  
27 ноября 2006 г.*