

## **РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД НАСЫПИ НОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ ТОММОТ-КЕРДЕМ АМУРО-ЯКУТСКОЙ МАГИСТРАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КРИОГЕННОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ**

**Мельников А.Е.,<sup>1</sup> Павлов С.С.,<sup>1</sup> Колодезников И.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Нерюнгри, Россия (678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16), e-mail: nfygu@neru.sakha.ru*

<sup>2</sup>*Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия (677007, г. Якутск, пр-т Ленина, 33), e-mail: anrsya@mail.ru*

---

На основе анализа природно-климатических условий в совокупности с результатами многолетних инженерно-геологических изысканий и лабораторного эксперимента установлено, что более половины длины железнодорожной линии Томмот-Кердем Амуро-Якутской магистрали (Республика Саха (Якутия)) представляет собой области интенсивного воздействия криогенного выветривания на породы насыпи. Горные породы, слагающие насыпь, после 4-5 лет эксплуатации сооружения под воздействием выветривания снижают свои прочностные характеристики более чем наполовину. Степень дезинтеграции применяемого одного и того же типа горной породы в качестве строительного материала насыпи в полосе линии Томмот-Кердем различна. Исходя из чего для наиболее полной оценки качества горных пород, используемых при возведении насыпей, лабораторные показатели морозостойкости необходимо определять в различных условиях замораживания-оттаивания: аэральных, аквальных и невальных. Разрушение горных пород, слагающих насыпь, под воздействием криогенного выветривания является единственным фактором нарушения устойчивости железнодорожного полотна проявляющимся на всем протяжении дороги Томмот-Кердем.

---

Ключевые слова: железная дорога, насыпь, устойчивость, горная порода, криогенное выветривание, физико-механические свойства.

## **ROCK DESTRUCTION OF THE BODY OF RAILROAD OF THE TOMMOT-KERDEM AMUR-YAKUTSK NEW LINE UNDER THE INFLUENCE OF THE FROST WEATHERING**

**Melnikov A.E.<sup>1</sup>, Pavlov S.S.<sup>1</sup>, Kolodeznikov I.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Technical Institute (branch) FSAEI HVE (Federal state autonomous educational institution of higher vocational education) "M.K. Ammosov North-East Federal University", Neryungri, Russia (678960 Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, Kravchenko St., 16), e-mail: nfygu@neru.sakha.ru*

<sup>2</sup>*Academy of Sciences of Republic of Sakha, Yakutsk, Russia (677007 Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, Lenin St., 33), e-mail: anrsya@mail.ru*

---

Based on the analysis of natural and climatic conditions together with the results of long-term engineering and geological research and laboratory experiment it was established, that more than a half of the length of the Tommot-Kerdem railway line Amur-Yakutia trunk (Sakha (Yakutia) Republic) represents a region of intense exposure to cryogenic weathering of the rock embankment. Rock, composing the embankment, after 4-5 years of operation under the influence of weathering reduce their strength characteristics more than a half. The degree of disintegration of the rock, used as the embankment construction material, within the Tommot-Kerdem railway line varies. On the basis thereof for complete evaluation of the quality of the rock used in the construction of embankments, laboratory parameters of the frost resistance are to determine in various conditions of freezing and thawing: aerial, aquatic, etc. Destruction of rocks composing the embankment, under the influence of cryogenic weathering is the only factor of destabilization of the railroad bed, appearing along the whole length of the Tommot-Kerdem railway line.

---

Key words: railroad, body of railroad, stability, rock, frost weathering, physical and mechanical properties.

### **Введение**

Строительство железнодорожной линии Томмот-Кердем Амуро-Якутской магистрали (АЯМ) в Республике Саха (Якутия) является крупнейшей железнодорожной стройкой России

за последние три десятилетия. Очевидно, введение в строй новой железнодорожной линии, в сочетании с опережающим развитием транспортной инфраструктуры в целом, обеспечит прогрессирующий эффект программ освоения и развития Востока страны. Однако важно отметить тот факт, что на сегодняшний день еще не создан железнодорожный путь, который бы не испытывал деформаций вследствие осадок при деградации мерзлоты в основании дорожного полотна или изменения свойств горных пород, слагающих насыпь, под влиянием окружающей среды, и в этом плане линия Томмот-Кердем не является исключением.

Действующие нормативные требования по оценке качественных характеристик горных пород и экономические факторы не всегда обосновывают правильность выбора строительного камня для возведения насыпей железнодорожных магистралей. В результате на откосах насыпей и выемок развиваются осыпи, обвалы, недопустимые деформации осадок, ведущих, в свою очередь, к существенным все возрастающим материальным затратам на содержание и ремонт железнодорожного пути. Объясняется это отчасти тем, что при проектировании и строительстве железных дорог и в технологических схемах проведения земляных работ слабо учитывается или вовсе не принимается во внимание влияние криогенного выветривания на изменения строения и свойств горных пород, используемых в качестве строительного материала. Более того, на сегодняшний день нет ни общероссийской, ни ведомственной нормативно-технической документации, позволяющей оценить влияние криогенного выветривания на устойчивость железнодорожных насыпей в суровых природно-климатических условиях.

Ограниченность данных по оценке влияния выветривания на железнодорожные магистрали диктует необходимость более глубокой проработки и экспериментальной проверки дезинтеграционного воздействия криогенного выветривания на устойчивость линейных сооружений в экстремальном климате.

### **Постановка проблемы**

Природно-климатические особенности территории строительства и эксплуатации дороги Томмот-Кердем создают весьма благоприятные условия разрушающему воздействию криогенного выветривания на насыпь [1; 4; 8; 9; 11]. Так, одними из главных факторов, определяющими интенсивность криогенного выветривания пород, являются степень ее водонасыщения и число циклов замораживания-оттаивания (ЦЗО), которые она претерпевает. Только в апреле 2013 г. вдоль железной дороги Томмот-Кердем автономными датчиками температуры, установленными на поверхности насыпи, зафиксировано порядка 40 переходов температуры воздуха через 0°C, а за весь год – более 100 (табл. 1).

Вместе с тем на незаснеженных склонах в весенне-осенний период наклонная поверхность насыпи может нагреваться до +30 °С при температуре воздуха до -20 °С.

Метеорологические условия в полосе железнодорожной магистрали этому весьма способствуют. Например, количество солнечной радиации, «получаемой» железнодорожной магистралью при подходе к г. Якутск, в марте и апреле даже больше, чем в Ташкенте (14,5-17 и 10,3-13 кал/см<sup>2</sup>, соответственно). В связи с чем количество переходов температуры через 0 °С на откосах насыпи в течение года зависит от облачности и может достигать 150.

Таблица 1

Количество переходов температуры воздуха на дневной поверхности через 0 °С вдоль железнодорожной линии Томмот-Кердем в 2013 г.

Месяц	Станция		
	г. Томмот	пос. Амга	г. Якутск
Март	1	2	-
Апрель	42	35	35
Май	24	20	16
Июнь	-	-	1
Сентябрь	27	31	26
Октябрь	29	26	24
Ноябрь	3	2	2
Декабрь	-	-	-
За год	126	116	104

Кроме того, для обеспечения требуемого руководящего уклона рассматриваемой железной дороги, отвечающего за работоспособность сооружения, и снижения объема земляных работ в целях экономии средств при строительстве, на стадии проектирования искусственно увеличивалась длина пути с траекторией, имеющей в основном долинные ходы. Указанные выше условия большей частью при строительстве железной дороги Томмот-Кердем выполнены, но соблюдаются они при прохождении трассы по пологим площадям многочисленных речных долин и ручьев. Опыт проектирования и строительства восточного участка Байкало-Амурской магистрали подтверждает, что такие решения имеют ряд преимуществ: плоский рельеф террас; минимальное количество выемок; на надпойменной террасе мощность торфа обычно сравнительно невелика, что обеспечит небольшие осадки насыпей. Однако положительный эффект от строительства железной дороги Томмот-Кердем по долинам рек и ручьев в данном случае сомнителен. Так, в результате проведенных полевых исследований отмечено, что большинство искусственных сооружений линии Томмот-Кердем работают в сложных гидрологических условиях подпора рек. Развитая система водотоков оказывает существенный прессинг на сооружения железнодорожной магистрали на большем ее протяжении.

Таким образом, породы железнодорожной насыпи линии Томмот-Кердем испытывают значительные термофизические и температурные напряжения, а влияние поверхностных водотоков и наледей, которыми изобилует трасса, еще более интенсифицирует разрушение строительного камня под воздействием криогенного выветривания. В ходе проведенных инженерно-геологических изысканий в полосе железной дороги разрушение крупнообломочных пород насыпи до дресвяного состояния отмечено практически на всем протяжении пути. На некоторых отрезках дороги степень дезинтеграции пород настолько значительна, что насыпь изменяет свои геометрические размеры и форму, выраженные в многочисленных просадках. Проведение дополнительных буровых и геофизических исследований на этих участках только подтверждает, что данные деформации насыпи связаны исключительно с воздействием криогенного выветривания. Величина просадок существенно увеличивалась для отрезков пути, породы насыпи которых контактировали с водой и наледями. В связи с чем возникает вопрос о качестве строительных материалов (грунтов), используемых для сооружения насыпи.

#### **Методы исследования**

При экспериментальном изучении криогенного выветривания наиболее распространены методики, позволяющие определять морозостойкость пород в ходе циклического их замораживания и оттаивания. Количественная оценка морозостойкости обычно дается по изменению массы образца породы или по потере ее прочности. Преимущественно распространены методики, предусматривающие оценку морозостойкости после 25-кратного замораживания и оттаивания пород [2; 3; 5; 6; 10]. Однако, как было отмечено выше, среднее число ЦЗО на дневной поверхности в течение одного года – главный фактор морозного выветривания – для территории Якутии может превышать 100. Таким образом, технические нормы и правила не учитывают региональные особенности отдельных территорий, и, следовательно, рекомендуемые в целом для зоны нормативы проектирования не всегда обеспечивают надежность работы дорожных конструкций и транспортных сооружений. Так, для условий Якутии трем-четырем годам соответствует примерно 300-350 ЦЗО. Кроме того, полоса строительства железной дороги Томмот-Кердем характеризуется сложными гидрологическими условиями. В связи с этим лабораторные испытания по определению параметров морозного выветривания грунтов должны учитывать «специфические» условия территории строительства.

В ходе лабораторных испытаний пород, слагающих насыпь дороги Томмот-Кердем, моделировались различные механизмы ее разрушения под воздействием криогенного выветривания: условия, когда воздействие воды на породы насыпи минимально (аэральные); воздействие температурных переходов на породы, находящиеся в водонасыщенном

состоянии (аквальные); условия, характерные на контакте пород насыпи со снежниками и наледями в весенне-летний период (невальные) [10].

С целью прогнозирования возможных деформаций насыпи в результате разрушения пород, ее слагающих, изменение их физико-механических свойств под воздействием морозного выветривания определялось после 500 ЦЗО, что примерно соответствует 5-летнему сроку эксплуатации линейного сооружения в природно-климатических условиях Якутии. Периодический контроль физико-механических параметров образца породы осуществлялся после 25, 50, 100, 200, 300, 400 и 500 ЦЗО. Лабораторному эксперименту подвергались все разновидности горных пород, слагающих насыпь железной дороги Томмот-Кердем. Это крупнообломочный скальный и полускальный грунт, представленный осадочными породами: известняком, доломитом, мергелем и песчаником.

Обработка результатов лабораторного эксперимента заключалась в вычислении изменений показателей простейших свойств пород после определенного количества ЦЗО – коэффициента морозостойкости  $K_{МСТ}$ , среднего геометрического значения скорости распространения упругих продольных волн в образце  $v$ , плотности  $\rho$  и предела прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$ .

### **Результаты исследования**

Согласно результатам проведенного лабораторного эксперимента, вне зависимости от условий замораживания-оттаивания, значения физико-механических показателей ( $\sigma_{сж}$ ,  $v$ ,  $\rho$ ) с каждым ЦЗО уменьшались. Однако величина снижения показателей в зависимости от условий эксперимента (аэральные, акральные, неральные) была различна. Кроме того, имела место неодинаковость интенсивности изменения прочностных и других свойств изначально близких по характеристикам различных типов горных пород в ходе эксперимента (рис. 1).

У мергеля в акральных условиях по достижению 400 ЦЗО значение величины  $\rho$  снизилось на 12%,  $v$  – 77%,  $\sigma_{сж}$  – 76%. После 400 ЦЗО мергель практически полностью потерял свою несущую способность, разрушившись до дресвяного состояния. В неральных условиях дезинтеграция данной породы происходила еще более интенсивно – снижение значений  $\rho$  к 200 ЦЗО составило 19%,  $v$  – 83%,  $\sigma_{сж}$  – 94%. После 200 ЦЗО в неральных условиях мергель перестал удовлетворять требованиям к скальным грунтам, используемым в качестве строительного материала. Даже в аэральных условиях эксперимента изменение значений  $\sigma_{сж}$ ,  $v$ ,  $\rho$  после 500 ЦЗО ощутимо – снижение  $\rho$  на 5%,  $v$  – 47%,  $\sigma_{сж}$  – 88%. В общем интенсивное снижение значений физико-механических свойств мергеля во всех условиях эксперимента отмечалось в первые 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания.

Известняк после 500 ЦЗО характеризуется снижением показателя  $\rho$  – на 3% в аэральных, 4% и 5% соответственно в акральных и неральных условиях. Однако все же о

более сильном влиянии невальных условий на интенсивность дезинтеграции породы можно судить по скорости прохождения ультразвуковых волн в последней – в невальных условиях по окончании эксперимента этот показатель меньше, чем в аквальных, почти в два раза. Существенное изменение физико-механических свойств известняк претерпевает в первые 50 ЦЗО. Так, например, через 50 ЦЗО в невальных условиях известняк потерял более 30% от своей начальной прочности.

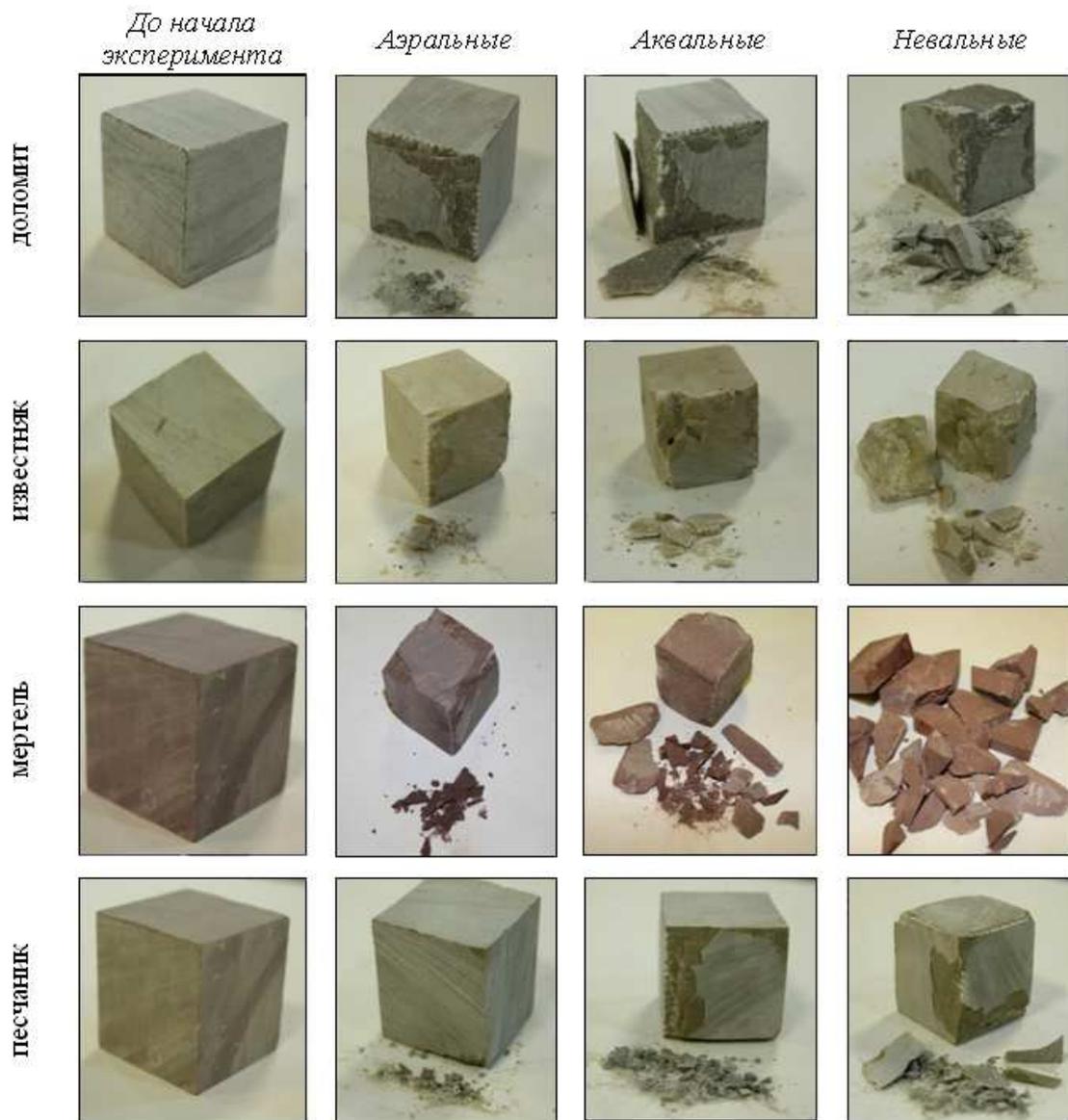


Рис. 1. Дезинтеграция пород под воздействием криогенного выветривания через 500 ЦЗО в зависимости от условий замораживания-оттаивания

Доломит в аэральных условиях попеременного замораживания-оттаивания по достижении 500 циклов потерял в прочности 37%, в аквальных – 44%, в невальных – 49%. Изменение показателя  $\rho$  (уменьшение расчетных значений) в аэральных, аквальных и невальных условиях составило на конец лабораторного эксперимента 3, 4 и 5%

соответственно. Доломит характеризуется после 500 ЦЗО снижением значений  $\sigma$  в аэральных условиях на 35%, в аквальных – 57% и невальных – 69%. Из пород, слагающих насыпь железной дороги Томмот-Кердем, доломит является более устойчивым к механизмам разрушения под воздействием криогенного выветривания по сравнению с другими. Для данной породы отмечено относительно резкое изменение своих свойств после 200-го ЦЗО.

Песчаник в ходе эксперимента существенно теряет свои прочностные характеристики даже в аэральных условиях. Предел прочности на одноосное сжатие после 500 ЦЗО снизился на 65%. Для аквальных и невальных условий эксперимента еще больше – на 70% и 82% соответственно. Значения  $\rho$  по достижении породой 500 ЦЗО для аэральных условий уменьшились на 4%, аквальных – 5% и невальных 6%. Скорость прохождения ультразвуковых волн в образце породы на начало эксперимента составляла 4,48 км/с. Через 500 ЦЗО данный показатель в аэральных условиях снизился на 29%, аквальных – 45% и невальных – 60%. Значительные изменения физико-механических свойств песчаника происходили в первые 200 ЦЗО.

Определенные значения коэффициента морозостойкости  $K_{МСТ}$  указывают на необходимость избирательного подхода при вынесении заключения о качестве и возможности использования горной породы в качестве строительного материала в определенной климатической зоне. Например, на проявлении строительного камня «Харьта-Юрях», расположенного в 28 км к юго-западу от с. Качикатцы Хангаласского улуса (128-129 км от пос. Нижний Бестях), по лабораторно-технологическим испытаниям морозостойкость известняка была определена как F-150 [7]. Однако морозостойкость этого же известняка при проведении испытаний в невальных условиях составила F-50. Таким образом, даже если ограничиться распространенными испытаниями на морозостойкость в 25 ЦЗО, различия  $K_{МСТ}$  для аэральных, аквальных и невальных условий значительны.

### **Выводы**

Разрушение горных пород, слагающих насыпь, под воздействием криогенного выветривания является единственным фактором нарушения устойчивости полотна, проявляющимся на всем протяжении железной дороги. Горные породы, слагающие насыпь железнодорожной линии Томмот-Кердем, с течением времени утрачивают свои эксплуатационные характеристики вплоть до потери несущей способности под воздействием природных особенностей региона. Горная порода, слагающая насыпь железной дороги Томмот-Кердем, имеет большую дезинтеграцию на участках пути, проходящих в пределах долин рек и ручьев, меньшую – на водоразделах. Исходя из чего для наиболее полной оценки качества горных пород, используемых при возведении насыпей, лабораторные показатели

морозостойкости необходимо определять в различных условиях замораживания-оттаивания: аэральных, аквальных и невальных.

Горные породы, слагающие насыпь железной дороги Томмот-Кердем, изначально обладающие пределом прочности на одноосное сжатие в пределах 60-70 МПа, после 500 ЦЗО снижают свои показатели физико-механических свойств более чем наполовину. 54% от общей протяженности железнодорожной линии Томмот-Кердем приходится на области интенсивного воздействия криогенного выветривания на насыпь железной дороги.

### Список литературы

1. Алексеев В.Р. Районирование Северного Приамурья и Южной Якутии по условиям выветривания горных пород / В.Р. Алексеев, С.С. Павлов // Десятое научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 1999. – С. 11-12.
2. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Введ. 1995. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 10 с.
3. ГОСТ 8209-87. Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний. - Введ. 1987. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 55 с.
4. Развитие экзогенных процессов в пределах эксплуатируемой железнодорожной трассы Беркакит – Томмот / Н.Н. Гриб, С.С. Павлов, А.А. Сясько, П.Ю. Кузнецов, А.В. Качаев // Вестник Технич. института (филиала) Якутского государственного университета. – Вып. 4. - Нерюнгри, 2009. - С. 36 – 39.
5. Лабораторные методы исследования мерзлых пород / под ред. Э.Д. Ершова. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 350 с.
6. Ломтадзе В.Д. Инженерная петрология. – Л. : Недра, 1984. – 470 с.
7. Николаева Л.М. Ресурсный потенциал месторождений и проявлений строительных материалов в зоне строительства железной дороги Томмот-Кердем // Проектирование и строительство земляного полотна железной дороги Томмот-Кердем в сложных инженерно-геологических условиях. Итоги инженерных изысканий в 2005 г. : материалы НТС 7-8 дек. 2005 г. в Якутске. – М. : Проекттрансстрой, 2005. – С. 76-78.
8. Павлов С.С. Криогенное выветривание горных пород как фактор устойчивости полотна железной дороги / С.С. Павлов, Н.Н. Гриб // Материалы международной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения П.И. Мельникова. Криосфера земли как среда жизнеобеспечения. – Пушино, 2003. – С. 73-74.
9. Самохин А.В. Влияние ритмичности сезонных и годовых колебаний температуры на горные породы, слагающие земляное полотно Амуро-Якутской железнодорожной

магистрала / А.В. Самохин, С.С. Павлов // Международная конференция «Ритмы природных процессов в криосфере Земли». – Пушино, 2000. – С. 17-18.

10. Шестернев Д.М. Криогипергенез и геотехнические свойства горных пород криолитозоны. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – 266 с.

11. Grib N.N. Cryogenic weathering force on the fill slope firmness / N.N. Grib, V.M. Nikitin, S.S. Pavlov // Journal of Glaciology and Geocryology. - 2004. - Vol. September. - P. 60 – 63.

### **Рецензенты**

Гриб Н.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Горное дело» Технического института (филиала) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Нерюнгри.

Омельяненко А.В., д.т.н., заведующий лабораторией Института горного дела Севера СО РАН, г. Якутск.