

methodology and computational framework. International journal of pavement engineering, 2015, Vol. 16, Issue 3, pp. 268-286.

7. Liyanage, Champika; Villalba-Romero, Felix Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. Transport reviews, 2015, Vol. 35, Issue 2, Special Issue: SI, pp. 140-161.

8. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.

9. Burdett R.; Kozan E.; Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. Engineering optimization, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

10. Janssen, Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. Janssen Thomasstahlbau, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.

Сведения об авторе

Кручинин Игорь Николаевич – доцент кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», кандидат технических наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: kinaa.k@ya.ru.

Information about the author

Kruchinin Igor Nikolaevich – Associate Professor of transport and road construction, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ural State Forestry Engineering University», Phd in Engineering, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: kinaa.k@ya.ru

DOI: 10.12737/19959

УДК 625.863.4

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

кандидат технических наук, доцент **И. Н. Кручинин**
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Основным материалом для строительства лесовозных автомобильных дорог остаются местные каменные материалы. Создание из этих дискретных материалов прочных конструктивных слоев сопряжено с рядом особенностей. При отсутствии вяжущего материала основным физико-механическим параметром будет являться их структурная прочность. Нами были проведены исследования по изучению изменения зернового состава при уплотнении щебней из различных горных пород в лабораторных условиях на роллерном компакторе. Проведена оценка степени влияния размеров измельченных частиц на структурную прочность. При изучении степени влияния сдерживающей силы между частицами были выделены зерна крупностью менее 0,25 мм. Было показано, что эти частицы кроме физических связей способны образовывать и химические, цементирующие связи за счет реакции с водой. Цементирующая способность различных каменных материалов оценивалась по времени прохода изготовленных из пыли образцов через квадратные отверстия в ситах, а после семи суток твердения еще и по пределу прочности при одноосном сжатии. На основе этих данных изучено влияние каменной пыли на величину контактных усилий между частицами материала и скорость его измельчения. Получены зависимости изменения прочности частиц каменных материалов относительно координационного числа и изменения контактных усилий между частицами при воздействии на них многократных циклических нагрузок. Установлено, что известняковый щебень прочности 400 гораздо сильнее подвержен измельчению при воздействиях многократных циклических нагрузок, чем прочные доломитовый и гранитный щебни. При этом увеличение сдерживающих сил между частицами за счет цементации у слабых каменных материалов составило от 5 до 30 процен-

тов. Рекомендовано при применении местных каменных материалов с низкой прочностью для строительства покрытий лесовозных дорог добавлять в их состав частицы более мелких фракций.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, каменный материал, щебень, контактные усилия между частицами, зерновой состав, цементация

JUSTIFICATION OF STONE IN CONSTRUCTION MATERIALS BASES AND COVERS LOGGING ROADS

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **I. N. Kruchinin**

Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ural State Forestry Engineering University»,
Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract

The basic material for the construction of logging roads are local stone materials. Establishment of the digital materials strong structural layers associated with a number of features. In the absence of a binder main physical and mechanical properties will be their structural strength. We carried out a study on the changes in grain composition during compaction ballasts from different rocks in the laboratory on a roller compactor. crushed particles on the structural strength of the Assessment of the degree of influence of the size. In the study of the degree of influence of the contracting force between particles were isolated grain size of less than 0.25 mm. It has been shown that these particles in addition to the physical connections and are able to form chemical linkages by cementitious reaction with water. Cementing the ability of different stone materials evaluated by the passage of time made of dust samples through the square holes in the sieve, and after seven days of hardening more and tensile strength in uniaxial compression. Based on these data, stone dust studied influence on the value of the contact forces between the particles of the material and its speed milling. These changes depending on the strength of stone material particles relative to the coordination number and change the contact forces between the particles when subjected to repeated cyclic loads. It was established that the limestone rubble strength of 400 is much more prone to crushing when the effects of multiple cyclic loads than solid dolomite and granite rubble. The increase in the restraining force between the particles due to the weak cementing stone materials ranged from 5 to 30 percent. It is recommended when using local stone materials with low strength for the construction of logging roads coatings add their constituent particles smaller factions.

Keywords: logging roads, stone material, rubble, the contact forces between the particles, grain structure, cementation

В современной практике строительства, эксплуатации и реконструкции оснований и покрытий лесовозных автомобильных дорог широко используются местные каменные материалы, которые обладают непостоянным зерновым составом и низкой прочностью [2, 4]. Изменение физико-механических свойств таких каменных материалов при производстве работ является практически неизбежным.

В структуре таких оснований и покрытий крупные фракции выполняют роль скелета, то есть своеобразного пространственного каркаса, выдерживающего основные нагрузки от движущегося лесовозного транспорта. Мелкие частицы, в свою очередь, выполняют не только роль заполнителя пустот в каркасе, но и при определенном минералогическом составе и степени увлажнения могут выполнять роль цементирующе-

го вещества, связывающего между собой более крупные частицы [1, 5, 8].

Основной целью данной работы является изучение процессов измельчения местных каменных материалов и формирования контактных сил между частицами с учетом цементирующей способности каменной пыли, образующейся в процессе их уплотнения.

В лабораторных условиях на роллерном компрессоре были проведены испытания по уплотнению местных каменных материалов: доломитовый щебень (марка прочности 1000), известняковый щебень (марка прочности 400) и гранитный щебень (марка прочности 800). Изменения зернового состава каждой отдельной фракции каменного материала в зависимости от циклов нагружения подробно рассмотрены в наших работах [1, 2].

Показателем измельчения частиц каменного материала является количество образующихся при уплотнении мелких частиц (для щебня фракции 20-40 мм это частицы размером <10 мм, для щебня фракции 40-70 мм – частицы размером <20 мм).

$$R_i = R_0 \cdot \frac{(f_i^{0-5} + f_i^{5-10})}{100}, \quad (1)$$

где R_i – средний радиус частиц на i -й цикл внешнего нагружения, см;

R_0 – средний радиус частиц до уплотнения, см;

f_i^{0-5} – процент фракции 0-5 мм;

f_i^{5-10} – процент фракции 5-10 мм.

Как показано в работах, именно размер этих частиц оказывает непосредственно влияние на сдерживающей силы между частицами зернистых материалов и влияет на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог [6, 9, 11].

В силу минералогического состава в некоторых каменных материалах часть образованных мелких частиц обладает способностью к самоомоноличиванию, то есть при реакции с водой частицы они образуют продукты гидратации и постепенно затвердевают. В связи с этим в толще уплотняемого слоя появляются конгломераты, которые способны принимать на себя часть усилий и тем самым увеличивать устойчивость щебеночных слоев к сдвигу. Активность этих частиц может существенно отличаться в зависимости от происхождения каменного материала и степени его увлажнения при уплотнении.

Для учета активной каменной пыли в расчете контактных усилий между частицами, который сопряжен с процессом измельчения частиц, используем понятие эквивалентной частицы каменной пыли. Эквивалентная частица каменной пыли (ЭЧКП) – это каменная пыль, вступившая в реакцию с водой и образующая цементированное скопление частиц с повышенной прочностью и устойчивостью к сдвиговым нагрузкам относительно отдельных мелких частиц, которые его образуют [7, 8]. Для оценки степени активности каменной пыли примем образец из частиц крупностью <0,25 мм, высота и диаметр которого после формования составляют 2,5 см. При этом реальная смесь будет включать в себя более крупные частицы, имеющие произвольную форму, и её прочность будет несколько

отличаться от прочности испытанных образцов. В связи с этим при расчете удерживающей силы между частицами приняты следующие допущения: эквивалентные частицы каменной пыли равномерно распределены по всему объему образованной при уплотнении смеси; средний радиус частиц принят с учетом расхода каменной пыли и частиц размером <0,25 мм на образование ЭЧКП [5,9].

Для расчета контактных усилий, возникающих между частицами малопрочных каменных материалов, средний расчетный радиус частицы R_c будем определять по формуле

$$R_c = R_i \cdot C_i - \frac{a_i}{100}, \quad (2)$$

где R_i – средний радиус частиц на i -й цикл внешнего нагружения, см;

C_i – степень измельчения $C_i = f_i^{0-10}$ (в условии образования ЭЧКП), см;

a_i – параметр учета цементации

$$a_i = \frac{f_i^{0-5} \cdot b}{100}, \%,$$

где f_i^{0-5} , f_i^{0-10} – содержание щебня фракции <5 мм и фракции 5-10 мм соответственно, %;

b – параметр измельчения, %.

В ходе лабораторных испытаний отбирались частицы размером <0,25 мм. Полученная каменная пыль замешивалась с 15-20 % воды для формовки образцов диаметром и высотой 2,5 см [7, 8].

Изготовленные образцы помещались на металлическое сито, подвешенное в сосуде с водой, с квадратными отверстиями размером 2 мм. По времени прохода образцов через сито была установлена их цементирующая способность (табл. 1), а после семи суток – предел прочности при сжатии (табл. 2).

Полученные данные были использованы в математической модели уплотнения каменных материалов в щебеночных покрытиях и основаниях лесовозных автомобильных дорог [3].

В результате исследований установлено, что набор плотности конструкции из зернистого каменного материала сопровождается упаковкой и перемещением частиц каменного материала.

Сравнительный расчет контактных усилий,

Цементирующая способность каменной пыли

Характеристика	Каменный материал		
	Гранитный щебень	Известняковый щебень	Доломитовый щебень
Цементирующая способность, сек.*/оценка	70/слабая	210/сильная	225/сильная
Примечание: * – время частичного прохода образца в водной среде через металлическое сито 2 мм			

Таблица 2

Характеристика каменных материалов и цементирующая способность каменной пыли после семи суток твердения

Материал	Прочность исходного каменного материала, МПа	Содержание пыли <0,25 мм в фракции 0-5 мм (b), %	Прочность образца, МПа	Прочность образца относительно исходного материала, %
Гранитный щебень 800	2.64	24.1	0.16	6.1
Известняковый щебень 400	3.09	23.8	0.86	27.9
Доломитовый щебень 1000	6.2	22.3	1.5	24.2

возникающих между частицами каменного материала с учетом образования химически активной каменной пыли и конгломератных образований показал, что исследуемый известняковый щебень гораздо сильнее подвержен измельчению при воздействиях многократных циклических нагрузок, чем доломитовый щебень.

Увеличение сдерживающих сил между частицами за счет цементации у местных каменных материалов может составлять от 5 до 30 % (рис. 1).

При этом его скорость измельчения уменьшится только после 72 прохода виброкатка, о чем свидетельствует точка пересечения кривой прочности материала с кривой сдерживающих усилий между частицами. Доломитовый щебень, имея прочность, практически в 2,5 раза превышающую прочность известняка, набирает достаточное число контактов между упакованными частицами уже на 30 проход виброкатка (рис. 2).

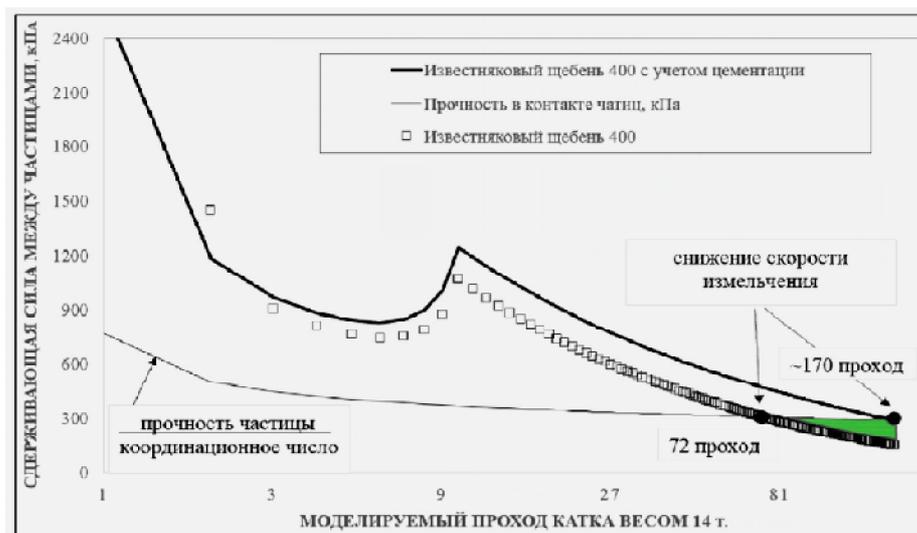


Рис. 1. Расчетно-экспериментальные зависимости сдерживающей силы между частицами от количества проходов виброкатка, с учетом цементации для известнякового щебня марки 400

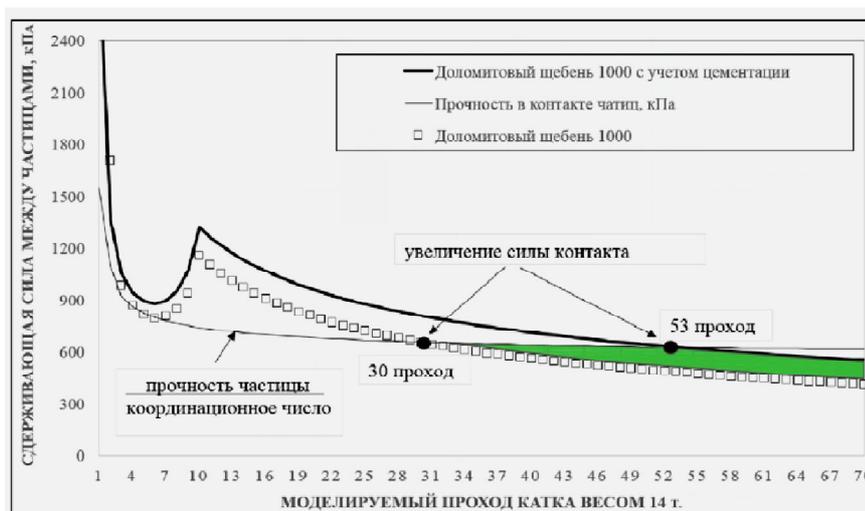


Рис. 2. Расчетно-экспериментальные зависимости сдерживающей силы между частицами от количества проходов виброкатка, с учетом цементации для доломитового щебня марки 1000

Образование каменной пыли позволяет материалу, с одной стороны, уменьшить скорость измельчения его частиц, о чем свидетельствуют точки пересечения кривых прочности щебня и контактных усилий между ними, а с другой, после завершения работ по уплотнению повысить сдерживающую силу между крупными частицами за счет цементации.

Для повышения качества конструктивных слоев из неукрепленных каменных материалов низкой прочности целесообразно добавлять в их состав частицы

более мелких фракций для уменьшения степени измельчения, а также пылевидные материалы, которые обладают цементирующими свойствами.

В случае применения доломитового щебня для уменьшения измельчения его собственных частиц желательным добавлением в его состав 10-20 % мелкого заполнителя, в то время как известняковый щебень может сам по себе играть роль заполнителя в смеси с более прочными каменными материалами, при условии достаточного измельчения.

Библиографический список

1. Ращектаев, В.А. Моделирование процесса уплотнения оснований дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог из слабых материалов [Текст] / В.А. Ращектаев, И.Н. Кручинин // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук: научный журнал. – Сыктывкар, 2014. – Вып. 2 (18). – С.80-82.
2. Ращектаев, В.А. Исследование свойств щебеночно-песчаных смесей металлургических шлаков для устройства монолитных оснований дорожных одежд [Электронный ресурс] / В.А. Ращектаев, С.А. Чудинов // Современные проблемы науки и образования: научный журнал. – 2014. – № 4. – Режим доступа: www.science-education.ru/118-14056.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014615551. Российская Федерация. Программа для расчета изменения физико-механических характеристик легкоуплотняемых каменных материалов «Straction of crushed rocks» [Текст] / В.А. Ращектаев, И.Н. Кручинин; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2014613274; заявл. 11.04.2014; зарегистрировано 28.05.2014.
4. Сушков, С.И. Разработка критериев устойчивости автопоезда при назначении элементов плана автомобильных дорог [Текст] / С.И. Сушков, О.Н. Бурмистрова // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 3 (19). – С. 161-168.
5. Чудинов, С.А., Теоретические исследования процессов структурообразования глинистых грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита [Текст] / С.А. Чудинов, С.И. Булдаков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2010. – № 5.

6. Santos, J. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework [Text] / J. Santos, A. Ferreira, G. Flintsch // International journal of pavement engineering. – 2015. – Vol. 16. – Issue 3. – pp. 268-286.
7. Hagerty, M.M. Onedimensional high-pressure compression of granular media [Text] / M.M. Hagerty, D.R. Hite, C.R. Ullrich // Journal of Geotechnical Engineering. – 1993. – Vol. 1. – no. 119. – pp. 1-18.
8. John Patrick De Bono, Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures [Text] / John Patrick De Bono // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013.
9. Midgley Ingredients of an unbound granular pavement for a successful sprayed seal, Technical Report No. TR207, VicRoads, Kew, Victoria, Australia. – 2009
10. Molenaar, A.A., Road Materials I: Cohesive and Non-cohesive Soils and Unbound Granular Materials for Bases and Sub-bases in Roads, in Lecture Note [Text] / A.A. Molenaar. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology. Delft. – 2005
11. Nakata, Y. Microscopic particle crushing of sand subjected to high pressure one-dimensional compression [Text] / Y. Nakata, M. Hyodo, Hyde // Soils and Foundations. – 2001. – Vol. 1. – № 41. – pp. 69-82.

References

1. Raschektaev V.A., Kruchinin I.N. *Modelirovanie processa uplotnenija osnovanij dorozhnyh odezhd lesovoznyh avtomobil'nyh dorog iz slabyh materialov* [Modeling process seal bases of road clothes of logging roads from weak materials]. *Izvestija Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk: nauchnyj zhurnal* [Proceedings of the Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: scientific journal]. Syktyvkar, 2014, Vol. 2 (18), pp. 80-82. (In Russian).
2. Raschektaev V.A., Chudinov S.A. *Issledovanie svojstv shhebenochno-peschanyh smesej metallurgiche-skih shlakov dlja ustrojstva monolitnyh osnovanij dorozhnyh odezhd* [Studying the properties of rubble-sand mixtures metallurgical slag for the device monolithic bases of road clothes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija: nauchnyj zhurnal* [Modern-recurrent problems of science and education: a scientific journal]. 2014, no. 4. Available at: www.science-education.ru/118-14056. (In Russian).
3. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM №2014615551. Rossijskaja Federacija. Programma dlja rascheta izmenenija fiziko-mehaničeskich harakteristik legkouplotnjaemyh kamennyh materialov «Cmpaction of crushed rocks»* [Certificate of state registration of the computer №2014615551. Russian Federation. The program for the calculation of changes in physical and mechanical nature-stick legkouplotnjaemyh stone materials «Cmpaction of crushed rocks»]. no. 2014613274; appl. 04/11/2014 (In Russian).
4. Sushkov S.I., Burmistrova O.N. *Razrabotka kriteriev ustojčivosti avtopoezda pri naznachenii jele-mentov plana avtomobil'nyh dorog* [Development of criteria for sustainability trains when assigning element-ments of road plan]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2015, Vol. 5, no. 3 (19), pp. 161-168. (In Russian).
5. Chudinov S.A., Buldakov S.I. *Teoreticheskie issledovanija processov strukturoobrazovanija gli-nistyh gruntov, ukreplennyh portlandcementom s dobavkoj polijejktrolita* [Theoretical research processes strukturoob-formation of clay soil, fortified with the addition of portland cement polyelectrolyte]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Proceedings of the higher educational institutions. Forest magazine]. 2010, no. 5. (In Russian).
6. Santos, Joao; Ferreira, Adelino; Flintsch, Gerardo A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. International journal of pavement engineering, 2015, Vol. 16, Issue 3, pp. 268-286.
7. Hagerty, M.M., Hite, D.R., Ullrich, C.R. Onedimensional high-pressure compression of granular media. Journal of Geotechnical Engineering, 1993, Vol. 1, no. 119, pp. 1-18.
8. John Patrick De Bono, Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures. PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013.

9. Midgley Ingredients of an unbound granular pavement for a successful sprayed seal, Technical Report No. TR207, VicRoads, Kew, Victoria, Australia, 2009.

10. Molenaar, A.A., Road Materials I: Cohesive and Non-cohesive Soils and Unbound Granular Materials for Bases and Sub-bases in Roads, in Lecture Note., Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology: Delft, 2005.

11. Nakata Y., Hyodo, M., Hyde, Microscopic particle crushing of sand subjected to high pressure one-dimensional compression. Soils and Foundations, 2001, Vol. 1, no. 41, pp. 69-82.

Сведения об авторе

Кручинин Игорь Николаевич – доцент кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», кандидат технических наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: kinaa.k@ya.ru.

Information about the author

Kruchinin Igor Nikolaevich – Associate Professor of transport and road construction, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ural State Forestry Engineering University», Phd in Engineering, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: kinaa.k@ya.ru.

DOI: 10.12737/19960

УДК 630*308, 630*311, 630*182.21, 630.181.5, 625.7

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ В ЛЕСОСЫРЬЕВЫХ БАЗАХ С ВЫДЕЛЕННЫМИ МАЛОНАРУШЕННЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Е. М. Рунова**¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **А. Л. Гребенюк**¹

И. А. Гарус¹

¹ – ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация

В работе рассматриваются вопросы технологии лесосечных работ с выделенными малонарушенными территориями (МЛТ), в которых ведение лесозаготовки либо запрещено, либо сильно ограничено. Но в основном предприятия с выделенными МЛТ находятся в зоне северных таежных лесов, которые относятся к эксплуатационным лесам. МЛТ выделены по материалам космических снимков и не всегда отвечают требованиям МЛТ, то есть эти леса подвержены пожарам, в них уже проведены рубки леса и в настоящее время планируется освоение территорий в связи с разработкой новых месторождений газа и нефти. Предложены ресурсосберегающие технологии лесосечных работ, которые в минимальной степени воздействуют на лесные экосистемы. Тема исследований является актуальной, так как в Российской Федерации возрастает количество предприятий, получивших сертификаты FSC. При этом на территории лесосырьевых баз таежных лесов сконцентрированы малонарушенные лесные территории, на которых практически запрещена лесозаготовительная и даже лесохозяйственная деятельность, что причиняет многим сертифицированным предприятиям неудобства при освоении лесов и заготовке древесины. Методика эксперимента заключалась в выработке регионального подхода при выделении МЛТ и разработке наиболее перспективных технологий заготовки древесины, обеспечивающих сохранение МЛТ. Надо найти подход, или скорее ряд региональных подходов, которые максимизируют сохранение МЛТ, но при этом не подрывают систему FSC и не делают ее менее жизнеспособной в регионах с большой долей МЛТ, где система больше всего нам нужна. Проблема сохранения МЛТ гораздо более сложна и многогранна, чем просто вопрос о выделении и сохранении ядер МЛТ.

Ключевые слова: малонарушенные лесные территории, лесозаготовка, технологии лесозаготовок, добровольная сертификация лесов, FSC.