

УДК 625.814.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ НА УКРЕПЛЕНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ СЫРОЙ НЕФТЬЮ**© *Ф.А. Павлов<sup>1</sup>, канд. техн. наук, проф.**М.А. Мельницкий<sup>1</sup>, асп.**Л.Н. Голицын<sup>2</sup>, ген. дир.*<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: promtrans@agtu.ru<sup>2</sup>ООО «Доринжсервис», ул. Павла Усова, 10, оф. 37, г. Архангельск, Россия, 163002; факс: +7-911-56-20-425

В настоящее время наличие лесовозных дорог значительно влияет на промышленное освоение отдаленных территорий Архангельской области. Они органично вписываются в общую транспортную сеть, несмотря на их ограниченное применение. В целях улучшения эксплуатационных характеристик лесовозных дорог используют каменные материалы, укрепленные различными веществами (битум, нефть, портландцемент, известь и т. д.). Изучение влияния компонентов, входящих в состав дорожно-строительных материалов при их укреплении, является важным направлением развития лесотранспортной отрасли. В данной работе приведены результаты исследования гранулометрического состава нефтегравийной и песчано-гравийной смесей, которые чаще всего используются в покрытиях лесовозных автодорог. В ходе исследования установлена сходимость кривых зернового состава нефтегравия и песчано-гравийной смеси № 2. При помощи графоаналитического анализа выявлено несоответствие нормативным требованиям фракционного состава образцов песчано-гравийной смеси, взятых непосредственно с дорожного покрытия и из карьера. В ходе изучения компонентного состава нефтегравийной смеси методом выжигания было определено количество содержащихся в ней вяжущих веществ, которое составило 4,3 % от каменного материала. С помощью методов электронной микроскопии была исследована структура поверхности вяжущих материалов (нефть и битум), используемых для укрепления лесовозных дорог. Выявлены существенные структурные различия между ними. В рамках исследования проведен структурно-групповой анализ нефти и дорожного битума в целях определения количественного содержания асфальтенов, смол и парафинов. Эксперимент показал, что содержание в битуме данных углеводородных групп соответственно в 10; 2 и 1,5 раза больше, чем в нефти. При этом удельное содержание данных групп в битуме учтено почти полностью в отличие от нефти, в которой 61,89 % их не идентифицировано. Наличие такого количества асфальтенов и парафинов в дорожном битуме, с одной стороны, и значительное содержание углеводородных групп легких и особо легких фракций, обладающих разжижающими и пластифицирующими свойствами, в сырой нефти, с другой стороны, дает возможность использовать их совместно. В целях уменьшения межфазного перехода битума из одного агрегатного состояния в другое при изменении температуры принято решение использовать дорожный битум в виде мелкодисперсного материала – битумного порошка. С помощью оптической микроскопии получены изображения структуры битумного порошка.

*Ключевые слова:* лесовозные дороги, зерновой состав, песчано-гравийная смесь, битумный порошок, нефть, структура.

Применение новых дорожно-строительных материалов в строительстве лесовозных дорог невозможно без изучения их компонентного состава. Большинство дорожно-строительных смесей содержат в своем составе каменные материалы и вяжущее вещество. Каменные материалы подбираются таким образом, чтобы получить максимально прочный каркас будущей дорожной конструкции.

В современной практике строительства лесовозных дорог чаще всего используют местные каменные материалы, которые по своим физико-техническим характеристикам не всегда отвечают нормативным требованиям. В связи с этим существует потребность улучшения их свойств путем введения вяжущих веществ: битума, эмульсии, сырой нефти, портландцемента, извести и т. д. Примером дорожно-строительного материала, который содержит каменные компоненты, как правило местного происхождения, а также органические вяжущие вещества в виде сырой нефти и продуктов ее переработки, является нефтегравий. В работе [1] приведено описание этого материала, изучены эмпирические прочностные характеристики и рассмотрена возможность применения его в покрытиях лесовозных автомобильных дорог.

Цель данной работы заключается в исследовании компонентного состава нефтегравийной смеси (нефтегравия) и подборе песчано-гравийной смеси (ПГС), схожей по зерновому составу с нефтегравием, а также в изучении влияния компонентов ПГС на укрепление ее сырой нефтью.

В ходе исследования нефтегравийной смеси был изучен ее состав, т. е. содержание органического вяжущего и каменного наполнителя.

Количество вяжущего вещества в нефтегравии определяли методом выжигания, сущность которого заключалась в том, чтобы с помощью весового контроля массы образцов вырубки до и после нагревания при температуре 500 °С в течение 1,5 ч найти разницу в массе.

Количество вяжущего вещества  $q_v$  сверх минеральной части нефтегравийной смеси (более 100 %) определяли по формуле [3]

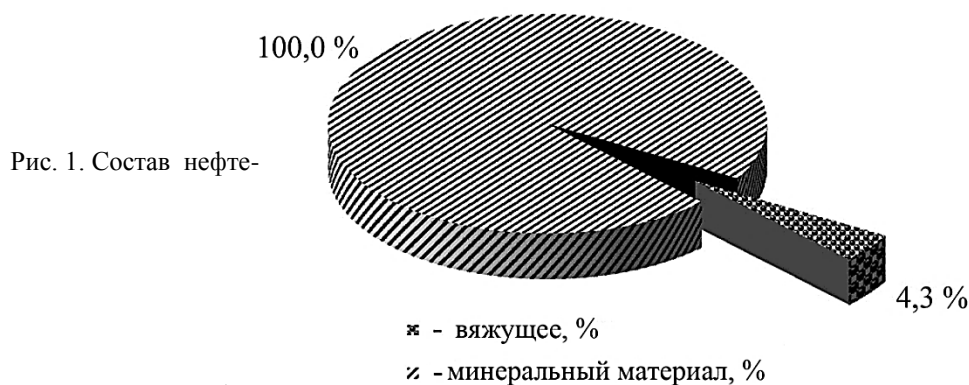
$$q_v = \frac{G_1 - G_2}{G_2 - G} 100 \%,$$

где  $G_1$  – масса лотка с навеской смеси до выжигания, г;

$G_2$  – масса лотка с навеской смеси после выжигания, г;

$G$  – масса лотка, г.

Содержание вяжущего вещества определяли на основе результатов двух параллельных испытаний, расхождение между параллельными испытаниями составило 0,05 %, что значительно меньше нормативного 0,2 % (по абсолютной величине). Это указывает на достоверность исследования. Результаты представлены на рис. 1.



Из рис. 1 видно, что вяжущее составляет 4,3 % от минеральной смеси, взятой за 100 %.

Кроме того, в ходе исследования был определен гранулометрический состав нефтегравийной смеси (рис. 2). В связи с тем, что нефтегравий принято считать схожим по составу и технологии производства с холодным асфальтобетоном, было проведено графоаналитическое сравнение их зерновых составов.

На рис. 2 показано, что нефтегравийная смесь содержит более 50 % фракции каменных материалов размером не менее 5 мм, в отличие от асфальтобетона, который на 30...40 % состоит из этой фракции [2].

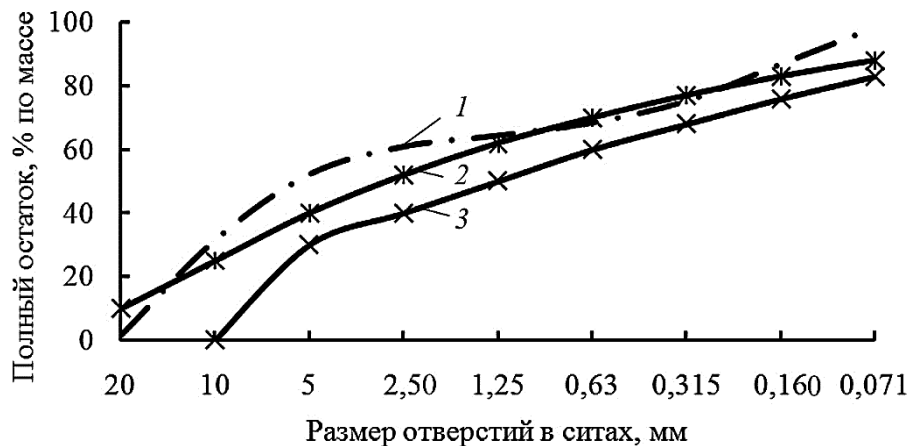
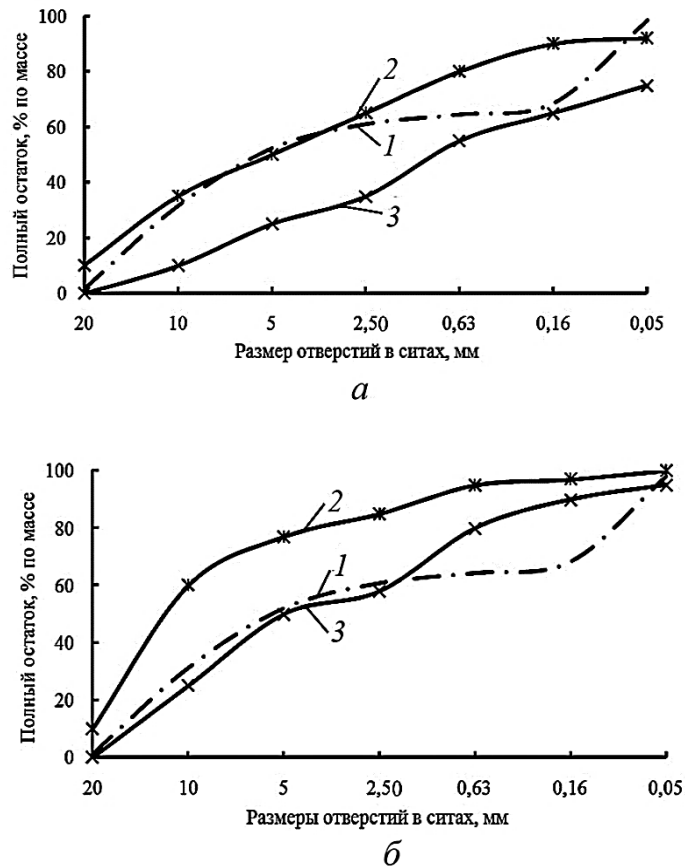


Рис. 2. Гранулометрический состав нефтегравия (1) и холодного асфальтобетона

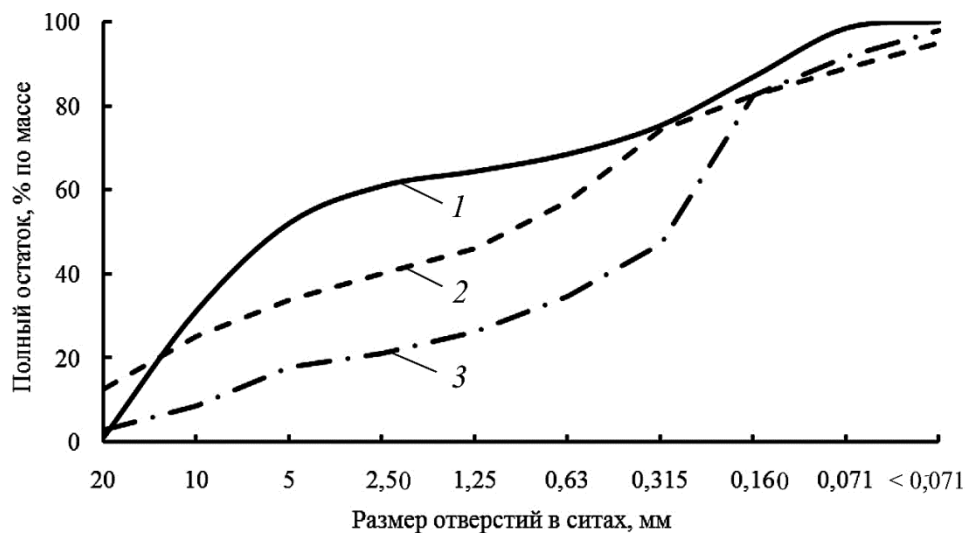
Наличие фракций размером более 5 мм оказывает существенное влияние на прочностные свойства дорожного материала. Было принято решение сравнить зерновые составы нефтегравия и ПГС, как материала, наиболее часто применяемого в строительстве лесовозных дорог. Основным документом, регламентирующим фракционный состав каменного материала в песчано-гравийной смеси, является ГОСТ 25607–2009 [4].

Нами были подобраны две наиболее подходящие по зерновому составу смеси ПГС № 2 и ПГС № 6. Их сравнивали графоаналитическим способом путем построения кривых зернового (гранулометрического) состава (рис. 3).

Рис. 3.  
Гранулометрический состав (по ГОСТ 25607–2009) нефтегравия (1) и ПГС (2, 3): а – ПГС № 2 и нефтегравий; б – ПГС № 6 и нефтегравий; 2 – верхняя граница, 3 –



Установлено, что гранулометрическая кривая нефтегравия повторяет геометрию нормативно-установленного зернового состава ПГС № 2, что делает возможным применять ее в



качестве аналога нефтегравия по фракционному содержанию каменного материала

Рис. 4. Гранулометрический с

После установления схождения

гранулометрических кривых нефтегравия и ПГС № 2 (рис. 3) был проведен подбор из двух образцов ПГС, сходных по зерновому составу с ПГС № 2. На рис. 4 представлены результаты исследования гранулометрического состава двух образцов ПГС, взятых непосредственно с дорожного песчано-гравийного покрытия и из притрассового карьера.

Исследования показали, что образцы ПГС по показателю «содержание частиц более 5 мм» не соответствуют ПГС № 2, поэтому не могут быть применены в покрытиях лесовозных дорог [4]. Хотя по классу дробимости они удовлетворяют всем требованиям. Нефтегравий с дорожного покрытия относится к особо прочным смесям, так как имеет класс дробимости М1000, гравий с притрассового карьера – класс М600.

На основании результатов исследования гранулометрических составов и прочностных испытаний различных видов смесей можно сделать следующие промежуточные выводы:

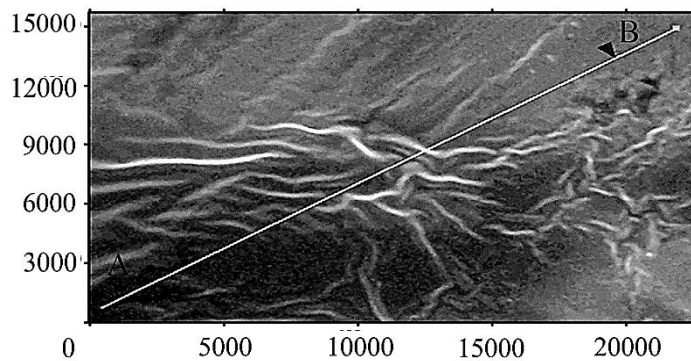
зерновой состав нефтегравия наиболее схож с ПГС № 2, а не с холодным асфальтобетоном, как считалось ранее;

взятые образцы ПГС по зерновому составу не соответствуют нефтегравию, а следовательно, и ПГС № 2.

Применение ПГС, особенно местного происхождения, без укрепления органическими или неорганическими вяжущими не дает возможности в полной мере использовать лесовозные дороги в сложных природных условиях Севера. Поэтому подбор оптимального состава вяжущего вещества является особо важной задачей. В данной работе с применением методов электронной микроскопии\* исследовались такие вяжущие материалы, как дорожный битум (марка БНДУ 90/130), сырая нефть и битумный порошок.

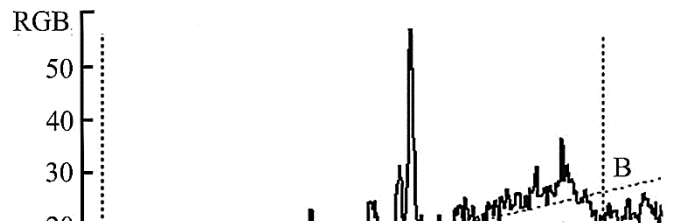
В ходе изучения структуры нефти были получены изображения различной конфигурации и масштаба. На рис. 5 представлена поверхность сырой нефти с разрешением до 1 мкм.

Рис. 5. Изображение поверхности сырой нефти (здесь и далее, на рис. 6, А–В – направление сечения поверхности; здесь и далее, на рис. 6, 7, 9, 10 на осях приведены

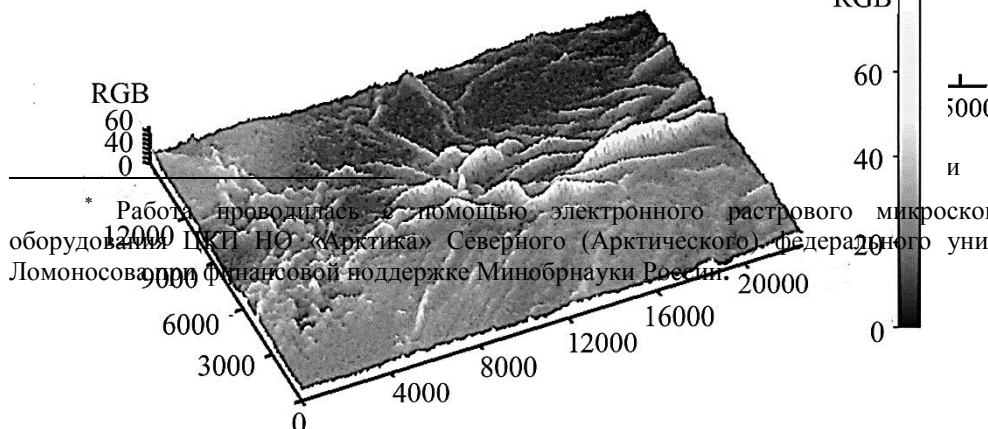


Из рис. 5 видно, что поверхность сырой нефти неровная, имеются значительные перепады высот. Кроме того, анализируя пространственные выпуклости, можно утверждать, что в структуре имеются твердые включения, которые нельзя увидеть при данном увеличении.

С помощью специализированной программы по обработке растровых изображений построено сечение А–В по диагональному направлению из т. А с самой низкой отметкой до самой удаленной от нее т. В. направлению сечения на рис. 6, где видно, как и предполагали, неровная, имеются так и впадины,



Профиль по А–В представлен что поверхность, достаточно как выпуклости, прослеживается общий уклон поверхности.



\* Работа проводилась с помощью электронного растрового микроскопа Zeiss SIGMA VP оборудованного ЦКП ИО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Рис. 7. Трехмерное изображение поверхности сырой нефти

На рис. 7 приведена поверхность образца сырой нефти в трехмерном изображении с разрешением до 1 мкм.

При увеличении масштаба в структуре поверхности сырой нефти обнаруживаются сетчатые включения, указывающие на упругие реологические свойства (рис. 8 и 9).

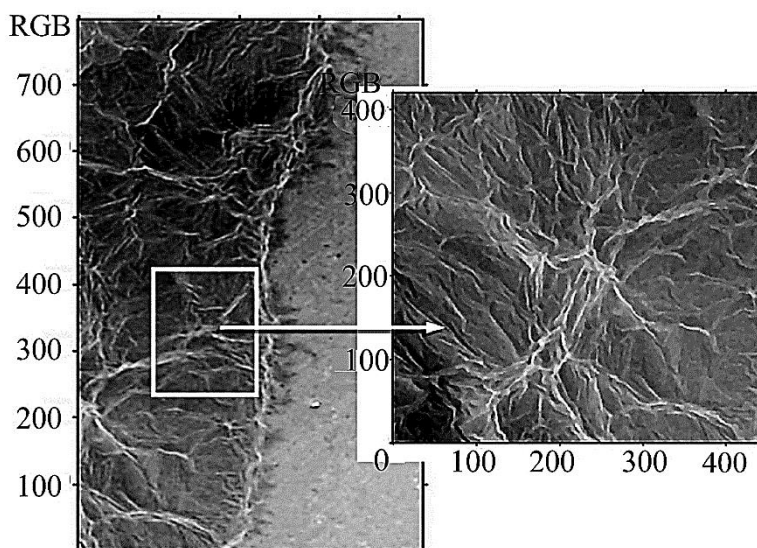
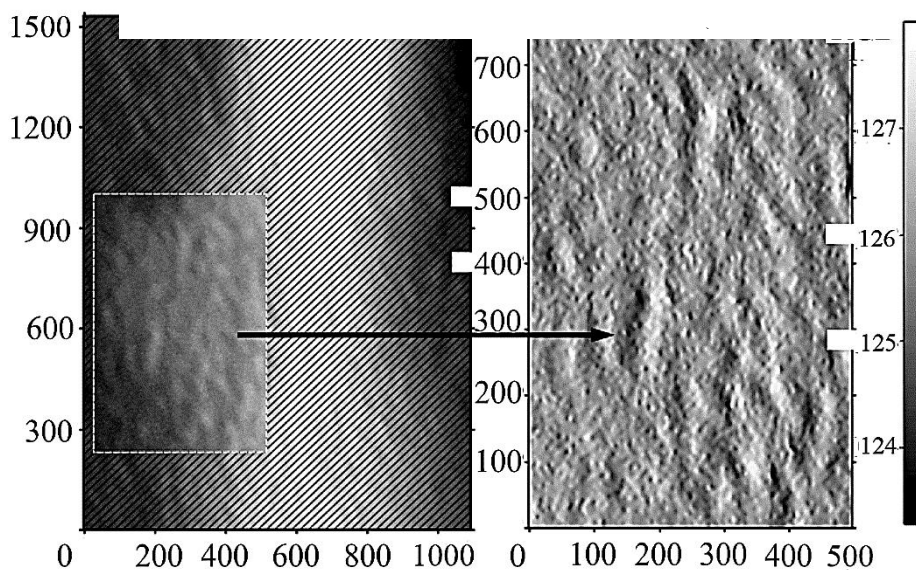


Рис. 8. Сетчатая структура поверхности сырой нефти ( на осях



поверхность дорожного битума.

Считается, что сильные структурные разветвления влияют на гибкость макромолекул, в то же время наличие коротких и частых боковых сетчатых включений указывает на их жесткость [5].

Для сравнения на рис. 10 представлена

Рис. 9. Изображение тверд

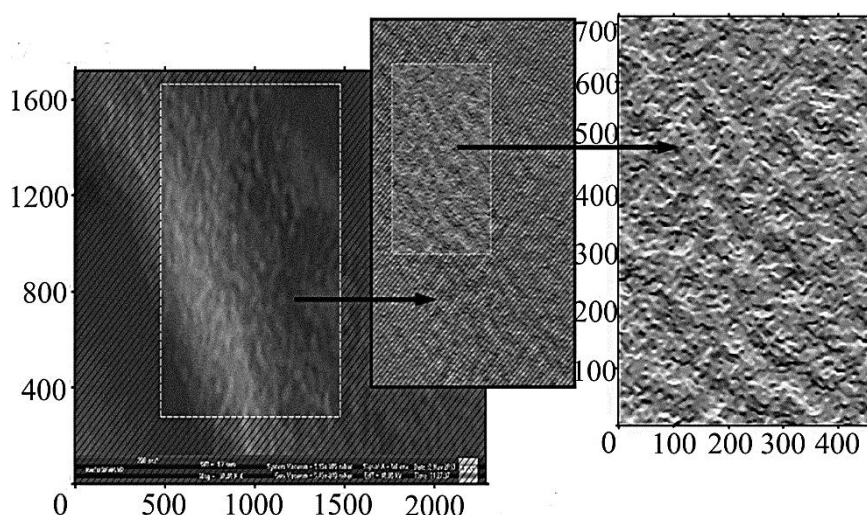


Рис. 10. Структура поверхности дорожного битума марки БНДУ 90/130

на основании данных электронной микроскопии можно сделать вывод, что различия в структуре поверхностей нефтесодержащих материалов предполагают и различные технико-эксплуатационные свойства нефти и битума.

Присутствие объемных, преимущественно вытянутых в одном направлении, глобулярных надмолекулярных образований в структуре нефти (см. рис. 9) указывает на ее устойчивость к механическим воздействиям. Модуль упругости плавно меняется при изменении температуры [5]. В структуре битума БНДУ 90/130 имеются преимущественно округлые формы глобул (рис. 10), структура которых однородна и характеризуется отсутствием ленточных коротких фибриллярных структур. Наличие центров структурообразования указывает на широкий интервал пластичности и устойчивости к механическим воздействиям [5].

В инновационно-технологическом центре арктических нефтегазовых лабораторных исследований института нефти и газа САФУ был изучен структурно-групповой состав образцов битума и нефти (рис. 11). Установлено, что в битуме марки БНДУ 90/130 содержание асфальтенов в 10 раз выше, чем в сырой нефти, а парафинов и силикагелевой смолы в 1,5 и 2 раза соответственно. Следует отметить, что указанных компонентов в битуме содержится 83,51 % от общей массы, в сырой нефти – 31,81 %. Данный факт указывает на то, что около 68,19 % всего состава нефти не учтено и может быть отнесено к легким и особо легким фракциям. Таким образом, в данном случае нефть рациональнее использовать совместно с основным вяжущим – битумом. Битум, как продукт переработки нефти, состоит в основном из тяжелых фракций и осадков.



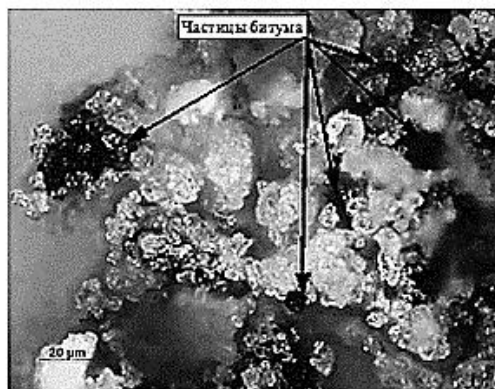
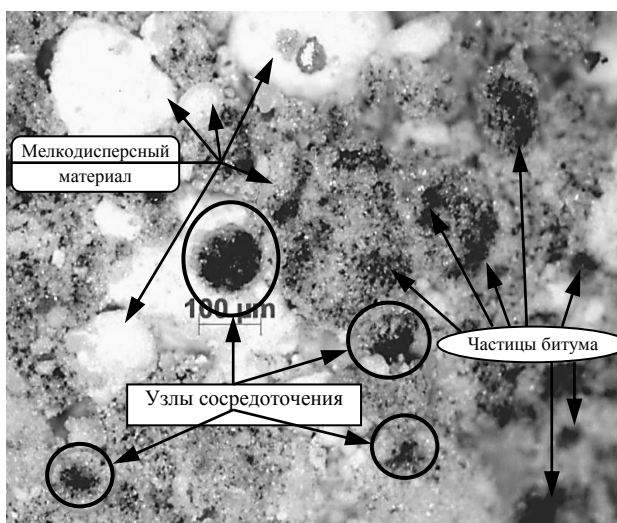
Рис. 11. Состав сырой нефти (1) и битума марки БНДУ 90/130 (2)

Известно, что агрегатное состояние дорожных битумов зависит от температуры окружающей среды. При температуре 20 °С он проявляет тугопластичные свойства, при ее повышении до 40...80



°С преобладают жидкостные свойства, при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  он становится хрупким. Эти свойства влияют

Рис. 12. Структура поверхности битумного порошка



а  
( Рис. 13. Расположение кристаллов битума на поверхности битумного порошка

на применение битума в качестве основного вяжущего материала. Для уменьшения влияния агрегатных

переходов битума при температурном воздействии в 1965 г. старшим научным сотрудником СевНИИП Б.В. Веселовым было предложено использовать битум для строительства лесовозных дорог в виде мелкодисперсного материала – битумного порошка, что почти исключало межфазовые переходы [6]. Предложенная методика была применена на практике, в результате были выпущены экспериментальные партии образцов битумного порошка. С помощью оптической микроскопии нами получены изображения структурных поверхностей битумного порошка (рис. 12, 13).

#### Выводы

1. На основе гранулометрических исследований нефтегравия и песчано-гравийных смесей было принято решение придерживаться гранулометрического состава ПГС № 2 [4], как наиболее схожего с зерновым составом нефтегравия. Поэтому для дальнейших лабораторных исследований предложено разделить имеющуюся ПГС из притрассового карьера на отдельные фракции и «уплотнить» ее зерновой состав до нормативно-установленного недостающим количеством фракций.

2. При изучении структур органических вяжущих веществ с помощью электронной микроскопии установлено, что битум и сырая нефть достаточно хорошо подходят для укрепления песчано-гравийных лесовозных дорог. Согласно структурно-групповому анализу, в сырой нефти недостаточно асфальтенов и парафинов, необходимых для прочного скрепления каменного материала, в битуме присутствует значительное количество асфальтенов и парафинов, что делает его хрупким при влиянии отрицательной температуры. Предложено совместно использовать нефть и битум для укрепления песчано-гравийных покрытий лесовозных дорог.

3. Для исключения влияния температуры на межфазовые переходы агрегатного состояния дорожного битума принято использовать мелкодисперсный материал – битумный порошок.

Данные оптической микроскопии указывают на образование в битумном порошке узлов сосредоточения, которые можно считать основой для прочного взаимодействия битума, сырой нефти и каменного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жабин В.И., Мельницкий М.А., Герасимов О.В. Эмпирическая оценка прочностных характеристик нефтегравийных покрытий автодорог // Лесн. журн. 2013. № 3. С. 79–85. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. ГОСТ 9128–97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. М.: Изд-во стандартов, 1999. 34 с.
3. ГОСТ 12801–98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1999. 63 с.
4. ГОСТ 25607–2009. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2011, 11 с.
5. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт, 1984. 229 с.
6. Павлов Ф.А., Савин Л.Е., Веселов Б.В. Лесовозные автомобильные дороги на Севере. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 168 с.

Поступила 27.01.14

УДК 625.814.3

### Research of Influence of Sand-Gravel Mix Components on Strengthening of Forest Roads by Crude Oil

*F.A. Pavlov<sup>1</sup>, Candidate of Engineering, Professor*

*M.A. Melnitsky<sup>1</sup>, Postgraduate Student*

*L.N. Golitsin<sup>2</sup>, General Director*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: promtrans@agtu.ru

<sup>2</sup>Dorinzhservis ltd, P.Usova str., 10, Arkhangelsk, 163002, Russia; tel. +7-911-56-20-425

Nowadays the construction of the forest roads has considerable influence on the industrial development of frontier areas of the Arkhangelsk region. They organically fit into the general transport network, despite their limited application. For the purpose of the improvement of the operational characteristics in structures of the forest roads they apply the stone materials strengthened by various substances, such as bitumen, oil, portland cement, lime, etc. Studying the influence of the compound components of road-building materials at their strengthening is the important direction in the forest transport branch of the scientific knowledge. This paper presents the research results of the granulometric composition of oiled gravel mixture (hereinafter OGM) and sand-gravel mixture (hereinafter SGM), which are usually used at the forest road surfaces. At the experiments the convergence of curves of grain composition OGM and SGM no. 2 was determined. The graphical method of analysis revealed the discrepancies of the samples SGM taken directly from the road surface and career to the statutory requirements for mixtures. In addition, the study of the component composition OGM by the burning method the number of binders was determined, with the content of 4,3 % of the stone material. Using the electron microscopy techniques the surface structures of binding materials such as oil and bitumen, which are often used to increase the carrying capacity of forest roads coatings, were investigated. And the significant structural differences between these materials were revealed. The structural and group analysis of oil and bitumen were conducted to determine the amount of asphaltene, oleoresin and paraffin. The experiments established that the bitumen content in these hydrocarbon groups exceeds 10, 2 and 1,5 times than that of oil, respectively. The share of these substances in the bitumen was taken into account almost completely, unlike oil, 61.89 % of which is not defined. Therefore, it is appropriate to use jointly crude oil and bitumen in response the existence of amount of asphaltene and paraffin in the road bitumen and the existence of hydrocarbonic families of the light and superlight fractions in oil. In order to reduce the interfacial bitumen transition from one state of aggregation to another it was decided to use the bitumen in the form of finely-divided material - bituminous powder. The images of the structure of the bitumen powder was obtained with the help of the optical microscopy.

*Keywords:* forest roads, grain structure, sand-gravel mix, bituminous powder, oil, structure.



REFERENCES

1. Zhabin V.I., Melnitsky M.A., Gerasimov O.V. Jempiricheskaja ocenka prochnostnyh harakteristik neftegravijnyh pokrytij avtodorog [Empirical Strength Evaluation of the Oiled Gravel Road Surface Characteristics]. *Izv. vissh. ucheb. zavedeniy. Lesnoi zhurnal*, 2013, no. 3, pp. 79–85.
  2. *GOST 9128–97. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, ajerodromnye i asfal'tobeton* [State Standart 9128-97. Asphaltic Concrete Mixtures for Roads and Airfield and Asphaltic Concrete]. [GOST. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, ajerodromnye i asfal'tobeton]. Moscow: Standards Publ. House, 1999. 34 p.
  3. *GOST 12801–98. Materialy na osnove organicheskikh vjzhushhih dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytanij* [State Standart 12801-98. Materials on the Basis of the Organic Binders for the Road And Airfield Construction. Test Methods]. Moscow: Standards Publ. House, 1999. 63 p.
  4. *GOST 25607–2009. Smesi shhebenochno-gravijno-peschanye dlja pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog i ajerodromov. Tehnicheskie uslovija* [State Standart 25607–2009. Crushed Stone-Sandy Mixtures for Road and Airfield Surfaces and Bases. Specifications]. Moscow: Standards Publ. House, 2011. 11 p.
  5. Rudenskaya I.M., Rudenskiy A.V. *Organicheskie vjzhushhie dlja dorozhnogo stroitel'stva* [Organic Binders for the Road Construction]. Moscow, 1984. 229 p.
  6. Pavlov F.A., Savin L.E., Veselov B.V. *Lesovoznye avtomobil'nye dorogi na Severe* [Forest Roads in the North]. Moscow, 1969. 168 p.
- 
-