

УДК 691.226

*КОЛОТУШКИН ДЕНИС МИХАЙЛОВИЧ, аспирант,  
deniss911@mail.ru*

*АЛГЕБРАИСТОВА НАТАЛЬЯ КОНСТАНТИНОВНА, канд. техн. наук,  
доцент,  
algebraistova@mail.ru*

*Сибирский федеральный университет,  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО КОНЕЧНОЙ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Исследован щебень основных поставщиков этого материала в Красноярском крае. Пробы испытаны на соответствие ГОСТ 8269.0–97. Была выполнена серия опытов: на определение зернового состава щебня, содержания пылевидных и глинистых частиц, содержания зерен лещадной и игловатой форм, дробимости щебня, определение истинной плотности зерен, насыпной плотности, определение пустотности, твердости по Роквеллу. Даны рекомендации по использованию щебня разных месторождений: для создания монолитного подрельсового основания, строительства оснований автомобильных дорог и для строительства покрытий автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** строительные материалы; щебень; зерновой состав; истинная плотность; насыпная плотность; твердость; лещадность; пустотность; электрическая проводимость; структура щебня.

*DENIS M. KOLOTUSHKIN, Research Assistant,  
deniss911@mail.ru*

*NATALIA K. ALGEBRAISTOVA, PhD, A/Professor  
algebraistova@mail.ru*

*Siberian Federal University,  
79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia*

## **PROPERTIES OF NONMETALLIC MATERIALS AND THEIR EFFECT ON THE QUALITY OF END PRODUCTS**

The paper presents investigations of crushed stone from main material providers of Krasnoyarsk Krai. The samples are tested in compliance with SNiP 8269.0–97. A series of tests includes the grain composition of crushed stone, flour and clay particles, acicular- and cubic-shape grain content, crushability, real grain density, bulk density, void content, Rockwell hardness. Recommendations are given for crushed stone from different deposits which can be used to design a solid sub-rail base, road subgrades and pavements.

**Keywords:** construction materials; crushed stone; grain size; true specific gravity; bulk density; hardness; flatness; void content; electrical conductivity; structure.

Многие российские компании в связи с политической и экономической ситуацией в мире, особенно на фоне санкций со стороны Запада, делают акцент на взаимодействие со странами Азии. В настоящее время реализуются совместные проекты по созданию единой транспортно-логистической инфра-

структуры. Особый интерес в развитии этого направления представляет взаимодействие с партнерами из КНДР, Южной Кореи, Китая и Монголии. Не менее важными являются проекты, позволяющие расширить участие автомобильного и железнодорожного транспорта в современных логистических схемах и мультимодальных транспортных цепочках.

В настоящее время в России щебень производят более 1000 предприятий. Технология производства щебня включает трех- или двухстадийное дробление с операциями предварительного или контрольного грохочения [1]. Компонентные решения технологических схем выбираются в зависимости от типа перерабатываемой горной породы, требуемых размеров фракций, их объемов и требований к качеству щебня. Износ основных фондов в подотрасли нерудных строительных материалов (НСМ) является самым высоким среди отраслей строительного комплекса, на некоторых предприятиях он достигает 90 %. Технический и технологический уровень производства соответствует нередко уровню 60–70-х гг. Не учитываются такие важные факторы, как рациональное использование природных ресурсов, энергоэффективность и сокращение отходов [2]. Анализ производства щебня в России, выполненный компанией «СМПРО», показал, что наибольшее число предприятий по производству щебня расположено в Центральном (192), Сибирском (182) и Северо-Западном (171) федеральных округах. Среди регионов лидерами по числу действующих щебеночных предприятий являются Республика Карелия (49), Свердловская область (36), Челябинская область (33) и Красноярский край (33) [3].

Подотрасль в 2014 г. так и не вышла на докризисные (2008 г.) показатели по объему производства. Сибирский федеральный округ, по результатам 2013 и 2014 гг., практически достиг докризисного уровня производства НСМ [3]. Однако общий экономический спад не обошел отрасль строительных материалов. По данным Росстата, за 2015 г. произведено 207,1 млн м<sup>3</sup> щебня, что на 8,2 % меньше, чем в 2014 г., и на 54,8 % меньше, чем в 2013 г. Динамика производства и импорта щебня в России представлена на рисунке [3–5].

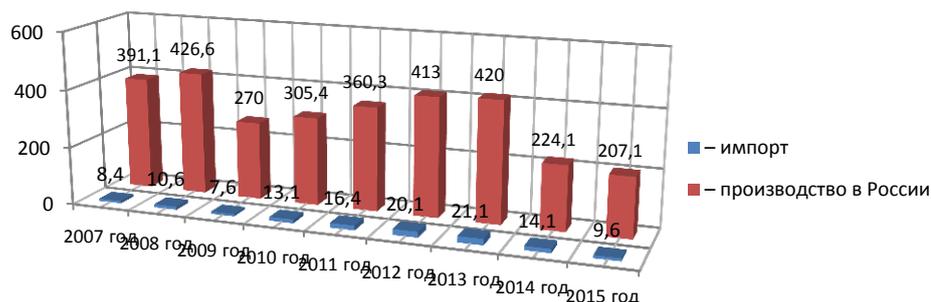
Импорт НСМ на рынок РФ в январе 2016 г. составил 189,7 тыс. т. По сравнению с декабрем 2015 г. произошел спад на 78,1 %. За период с августа по декабрь 2015 г. наблюдалось снижение объема импорта украинского щебня, в январе Украина вышла из списка стран-импортеров НСМ, ее место заняла Швеция [6].

На втором и третьем местах по объему импорта стоят Норвегия и Республика Беларусь.

Объемы экспортных поставок нерудных материалов исторически незначительны, так, в последние годы доля экспорта в общем объеме производства НСМ в РФ составляет менее 0,2 %.

Благодаря постановлению правительства от 6 августа 2015 г. № 815 «Лицензирование импорта гравия и щебня», импорт щебня из Украины и других государств, не входящих в Евразийский союз, резко снизился, тем самым принятое решение будет стимулировать спрос на продукцию отечественных нерудных предприятий и позволит повысить загрузку их производственных мощностей [7].

С этой целью проведен мониторинг предприятий Красноярского края, способных поставлять качественный щебень в соответствующих объемах.

Динамика производства и импорта щебня в России, млн м<sup>3</sup>

Для исследования были выбраны основные поставщики щебня Красноярского края: ОАО «Химико-металлургический завод» (ХМЗ), ООО «Песчанка 2005» (Песчанка), ООО «Березовский» (Березовский), ООО «Громадский щебеночный карьер» (ГЩК).

Была выполнена серия опытов: на определение зернового состава щебня, содержания пылевидных и глинистых частиц, содержания зерен лещадной и игловатой форм, дробимости щебня, определение истинной плотности зерен, насыпной плотности, пустотности, твердости по Роквеллу.

Пробы испытаны на соответствие ГОСТ 32703–2014<sup>1</sup>, использовалось современное сертифицированное оборудование: гидравлический пресс МС-1000, твердомер М4U G3, последовательный волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр Lab Center XRF-1800 и многое другое. В табл. 1 представлены результаты.

Таблица 1

## Результаты испытаний щебня

Наименование показателей	Значения показателей щебня			
	Березовского	Песчанки	ХМЗ	ГЩК
Зерновой состав: полные остатки на ситах, %:				
D	13,5	10,00	9,00	9,20
d	99	99,80	99,60	99,7
0,5 d	97,8	96,55	97,43	98,73
1,4 D	0	0	0	0
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,4	1,4	1,5	1,4
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,7	2,7	2,7	2,7
Пустотность, %	38,6	33	31	32,4
Содержание пылевидных и глинистых примесей, %	1,0	0,30	1,0	0,90

<sup>1</sup> ГОСТ 32703–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования.

Окончание табл. 1

Наименование показателей	Значения показателей щебня			
	Березовского	Песчанки	ХМЗ	ГЩК
Дробимость в цилиндре: потеря массы, %	9,0	8,9	8,7	8,9
марка по дробимости	M1400	M1400	M1400	M1400
марка по прочности	И1	И1	И1	И1
Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм, %	15 (катег. Л15)	14 (катег. Л15)	12 (катег. Л15)	13 (катег. Л15)
Твердость образцов щебня по шкале Роквелла, HRB	69	65	69	70
Электроизоляционные свойства материала/Допустимые значения ГОСТ, См/м	0,01382/0,06	0,0263/0,06	0,0171/0,06	0,01743/0,06
Устойчивость структуры, потеря массы, %	21,6	22,4	22,1	21,8

■ – показатели, прошедшие требования ГОСТ [1].

Зерновой состав щебня определяли путем рассева пробы на стандартном наборе сит. Полученные результаты свидетельствуют о том, что все значения нормативных требований соблюдаются, кроме крупности ( $D_{нб}$ ) щебня Березовского карьера и щебня карьера «Песчанка». Данные образцы щебня нормативные требования не прошли.

Содержание пылевидных и глинистых частей в щебне определяли по изменению массы пробы после отмачивания пылевидных и глинистых частиц крупностью до 0,05 мм.

Согласно ГОСТ 32703–2014 содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать по массе 1 %. Исходя из полученных результатов видно, что требованиям стандарта отвечают только щебень с карьера «Песчанка» и ГЩК.

Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы определяли методом визуальной разборки, т. е. оценивали количество зерен, толщина или ширина которых менее длины в три и более раза. Этот показатель для изучаемых образцов составил 12–15 %, т. е. все образцы относятся к категории Л15.

Лещадность можно считать одним из важнейших свойств качества щебня. Качественным считается тот щебень, который обладает меньшей лещадностью.

Дробимость щебня изучали по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре с помощью гидравлического пресса с усилием от 100 до 500 кН<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> ГОСТ 28840–90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.

Согласно результатам выполненных исследований, все образцы щебня относятся к марке М1400, т. е. являются сверхпрочными.

Истинную плотность зерен щебня определяли пикнометрическим методом путем измерения массы единицы объема измельченного высушенного материала.

Согласно проведенному испытанию, все образцы щебня имеют одинаковую и достаточно высокую истинную плотность, что подтверждает их высокое качество.

Насыпную плотность изучали путем взвешивания определенного объема щебня в состоянии естественной влажности с использованием платформенных весов и мерного цилиндра.

Насыпная плотность образцов щебня, так же, как и истинная, достаточно высокая, однако у щебня карьера «Песчанка» несколько ниже, чем у остальных.

При анализе образцов на пустотность самый хороший результат показали образцы щебня с химико-металлургического завода. Этот показатель определяли расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня.

Метод Роквелла является наиболее распространенным для определения твердости.

Как показали исследования, твердость у всех образцов щебня примерно одинаковая, однако у щебня карьера «Песчанка» этот показатель несколько ниже.

Щебень карьеров «Песчанка», ХМЗ, ГЦК и Березовского карьера имеет твердость 65–70 HRB.

Электроизоляционные свойства щебня находили по удельной электрической проводимости насыщенного раствора, получаемого при перемешивании размельченного щебня с дистиллированной водой.

Удельная электрическая проницаемость не должна превышать 0,06 см/м. Все образцы щебня прошли испытания. Данные исследования показали, что удельная электрическая проницаемость изучаемых проб составила 0,01382–0,0263 см/м, т. е. по этому показателю все образцы удовлетворяют требованиям стандарта.

Устойчивость структуры щебня против всех видов распадов определяют путем выдержки щебня в дистиллированной воде в течение 30 сут (сульфидный и железистый распады) и последующего испытания в закрытом сосуде (по принципу автоклава) при давлении 2 атм. в среде насыщенного пара (силикатный и известковый распады).

В целом, полученные данные свидетельствуют о том, что изучаемые образцы не удовлетворяют требованиям ГОСТ 32703–2014, но в настоящее время существует множество технологий, благодаря которым можно исправить этот недостаток. Например: технология XiTRACK – укрепление балласта двухкомпонентной полиуретановой системой, технология Dynathane – капсулирование рельса с помощью молдингов из микроячеистого полиуретана, технология Тепак – георешетки с суббалластом, технология ECSSP – эффект охлаждения щебня защитным склоном, использование системы оценки устойчивости, на основе технических, экономических и экологических факторов, использование смарт-геосинтетических достижений, обеспечивающих долгосрочные возможности мониторинга [8–15].

Полный химический анализ выполняли на последовательном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Lab Center XRF-1800. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты полного химического анализа

Элементы	Образцы			
	Химико-металлургический завод	Громадский щебеночный карьер	Карьер Березовский	Карьер «Песчанка»
O	51,65	50,89	50,38	50,26
Ca	28,74	2,05	2,75	3,22
C	18,13	3,47	4,41	5,03
Si	0,71	28,32	27,26	25,93
Mg	0,22	0,90	0,94	1,21
Al	0,22	6,19	6,09	6,16
Na	0,12	3,56	3,45	3,39
Cl	0,01	–	0,01	0,01
S	0,01	0,01	0,01	0,02
Ti	0,01	0,21	0,22	0,24
Mn	0,005	0,07	0,03	0,07
Cr	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	0,003	0,01	0,004	0,005
Cu	0,002	0,003	0,002	0,003
Y	–	0,002	0,0021	0,002
Ga	–	0,0013	0,0012	0,0014
Nb	–	–	–	0,0003
Fe	0,11	2,35	2,38	2,65
K	0,03	1,8	1,82	1,61
P	0,02	0,07	0,08	0,08
Sr	0,02	0,02	0,03	0,03
Ba	0,01	0,04	0,04	0,04
Zn	0,001	0,005	0,005	0,01
Zr	–	0,02	0,02	0,02
La	–	–	–	0,01
Rb	–	0,005	0,01	0,01
Pb	–	0,001	0,003	0,002

Как видно из данных таблицы, количество радиоактивных элементов во всех образцах незначительно, в то же время не наблюдается промышленно значимых содержаний и по другим элементам.

Таким образом, по результатам испытаний щебень карьеров ХМЗ и ГЦК по всем показателям удовлетворяет требованиям ГОСТ 32703–2014. Этот материал рекомендуется использовать для создания монолитного подрельсового основания и строительства оснований автомобильных дорог.

В условиях воздействия больших нагрузок материал сможет обеспечить перераспределение напряженного состояния, снижение напряжений в покрытии и давления на нижележащие дополнительные слои и грунт земляного полотна. Основания должны быть жесткими, плотными и достаточно сдвигоустойчивыми.

При строительстве покрытий автомобильных дорог, требования к которым значительно ниже, чем к основаниям, можно использовать щебень Березовского карьера и карьера «Песчанка».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вайсберг, Л.А.* Исследование физико-механических свойств строительных горных пород, влияющих на их дезинтеграцию и качество конечной товарной продукции (Плакинские чтения 2013) : материалы Международного совещания (16–19 сентября 2013 г.) / Л.А. Вайсберг. – Томск, 2014. – 535 с.
2. *Лангер, В.Х.* Строительные материалы: щебень, песок и гравий / В.Х. Лангер // Энциклопедия материалов: наука и техника. – 2-е изд., 2001. – С. 1537–1545.
3. *Импорт и экспорт щебня:* Импорт щебня в РФ за 12 месяцев 2015 года // Gementinfo [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://gruz.ru/node/2814#Import>
4. *Джозеф, П.* Устойчивые нерудные строительные материалы / П. Джозеф, С. Третьякова-Макналли // Устойчивость. – 2010. – № 2. – Р. 400–427.
5. *Производство щебня:* Производство щебня в РФ за 2015 год // ГИПРОНЕРУД [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://gipronerud.ru/itogi-2015-goda/>
6. *О щебне:* Анализ импорта нерудных материалов // Щебень России [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://brokenstone.ru/Material.aspx?id=1533>
7. *Строительные материалы:* Программы максимум и минимум для нерудных строительных материалов // Строительство. ru – Всероссийский отраслевой интернет-журнал [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://www.rcmm.ru/stroitelnye-materialy/22050-programmy-maksimum-i-minimum-dlya-nerudnyh-stroitelnyh-materialov.html>
8. *Постановления правительства:* О введении лицензирования импорта гравия и щебня // Правительство России [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://government.ru/docs/19188/>
9. *О полиуретановых системах и компонентах:* двухкомпонентная полиуретановая система // Химический концерн «Dow Chemical». – Условия доступа : <http://www.dow-izolan.com/ru/company/>
10. *Полиуретановые технологии:* полиуретановые инновации в железнодорожном строительстве // Dow Polyurethanes [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://www.dow.com/en-US/polyurethane>
11. *Дорожные конструкции:* Георешетки Tenax // ООО «Геокомплекс» [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://www.geotekstil.ru/production/georeshetka/tenax>
12. *Молдинги из микроячеистого полиуретана:* Технология Dynathane // Дау Изолан [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://www.dow-izolan.com/ru/products/>
13. *Исследование вопроса дизайна* и оптимизации слоя щебня с затемнением борта, размещенного на железнодорожной насыпи в условиях вечной мерзлоты/ Ли Гуоу, Ли Нинг, К. Жиамей, Н. Фуджун, У. Венбинг, С. Леи, Б. Гуикуан // Наука и техника холодных регионов. – 2008. – № 54. – С. 36–43.
14. *Использование динамики систем* для надлежащего ухода и утилизации агрегатов для стабильного строительства дорог / Р.Б. Маллик, М.Ж. Радзики, М. Зауманис, Р. Франк // Ресурсы, сохранение и утилизация отходов. – 2014. – № 86. – С. 61–73.

15. Кристофер, Б.Р. Геотекстиль, используемый в укреплении асфальтированных грунтовых дорог и железных дорог / Б.Р. Кристофер // Геотекстиль. – 2014. – С. 305–335.

## REFERENCES

1. Vaisberg L.A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv stroitel'nykh gornykh porod, vliyayushchikh na ikh dezintegratsiyu i kachestvo konechnoi tovarnoi produktsii [Investigation of mechanical-and-physical properties of rocks affecting their disintegration and the quality of end products]. *Proc. Sci. Conf. 'Plakinskie chteniya 2013'*. Tomsk: TPU Publ., 2014. 535 p. (rus)
2. Langer W.H. Construction materials: crushed stone, sand and gravel. *Encyclopedia of materials: science and technology (second edition)*. Budapest: Facta Universitatis, 2001. Pp. 1537–1545.
3. *Import i eksport shchebnya. Import shchebnya v RF za 12 mesyatshev 2015 goda* [Import and export of crushed stone in Russia in 2015]. Available at: <http://gruz.ru/node/2814#Import/> (rus)
4. Joseph P., Tretsiakova-McNally S. Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*. 2010. No. 2. Pp. 400–427.
5. *Proizvodstvo shchebnya. Proizvodstvo shchebnya v RF za 2015 god* [Crushed stone production in Russia in 2015]. Available at: <http://gipronerud.ru/itogi-2015-goda/> (rus)
6. *O shchebne. Analiz importa nerudnykh materialov* [About crushed stone. The analysis of nonmetallic materials import]. Available at: <http://brokenstone.ru/Material.aspx?id=1533/> (rus)
7. *Stroitel'nye materialy. Programmy maksimum i minimum dlya nerudnykh stroitel'nykh materialov* [Construction materials. Minimum and maximum programs for nonmetallic building materials]. Available at: [www.rcmm.ru/content/topics/481\\_print.html/](http://www.rcmm.ru/content/topics/481_print.html/) (rus)
8. *Postanovleniya pravitel'stva 'O vvedenii litsenzirovaniya importa graviya i shchebnya'* [Government decree on introduction of import licensing for gravel and crushed stone]. Available at: <http://government.ru/docs/19188/> (rus)
9. *O poliuretanovykh sistemakh i komponentakh. Dvukhkomponentnaya poliuretanovaya sistema* [Polyurethane systems and components. Two-component polyurethane system]. Available at: [www.dow-izolan.com/ru/company/](http://www.dow-izolan.com/ru/company/) (rus)
10. *Poliuretanovye tekhnologii. Poliuretanovye innovatsii v zheleznodorozhnom stroitel'stve* [Polyurethane technologies. Polyurethane innovations in railway construction]. Available at: [www.dow.com/en-US/polyurethane/](http://www.dow.com/en-US/polyurethane/) (rus)
11. *Dorozhnye konstruksii. Georeshetki Tenax* [Road structures. Tenax geogrids]. Available at: [www.geotekstil.ru/production/georeshetka/tenax/](http://www.geotekstil.ru/production/georeshetka/tenax/) (rus)
12. *Moldingi iz mikroyacheistogo poliuretana. Tekhnologiya Dynathane* [Microcellular polyurethane moldings. Dynathane technology]. Available at: [www.dow-izolan.com/ru/products/](http://www.dow-izolan.com/ru/products/) (rus)
13. Guoyu Li., Ning K., Jiamei N., Fujun Y., Wenbing S., Guiquan Lei B. Study on design optimization of a crushed stone layer with shading board placed on a railway embankment on warm permafrost. *Regions Science and Technology*. 2008. No. 54. Pp. 36-43.
14. Mallick R., Radzicki M.J., Zaumanis M. Frank R. Use of system dynamics for proper conservation and recycling of aggregates for sustainable road construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2014. No. 86. Pp. 61-73.
15. Christopher B.R. Geotextiles used in reinforcing paved and unpaved roads and railroads. *Geotextiles*. 2014. Pp. 305–335.