

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №5, Том 14 / 2022, No 5, Vol 14 <https://esj.today/issue-5-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/21SAVN522.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Буренина, О. Н. Исследование физико-химических свойств минерального сырья для модификации серобетонов / О. Н. Буренина, Л. А. Николаева, А. В. Андреева, В. Е. Копылов, М. Е. Саввинова // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN522.pdf>

**For citation:**

Burenina O.N., Nikolaeva L.A., Andreeva A.V., Kopylov V.E., Savvinova M.E. Study of the physicochemical properties of mineral raw materials for the modification of sulfur concrete. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(5): 21SAVN522. Available at: <https://esj.today/PDF/21SAVN522.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

*Работа выполнена в соответствии с Госзаданием АААА-А21-121011590012-9, Грантом ЦКП 075-15-2021-669 и Государственным контрактом № 5304*

### **Буренина Ольга Николаевна**

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия  
Институт проблем нефти и газа — обособленное подразделение  
Ведущий научный сотрудник  
Кандидат технических наук  
E-mail: [bon.ipng@mail.ru](mailto:bon.ipng@mail.ru)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=545851](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=545851)

### **Николаева Лира Александровна**

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия  
Институт проблем нефти и газа — обособленное подразделение  
Старший научный сотрудник  
Кандидат технических наук  
E-mail: [lanikolaeva\\_ipng@mail.ru](mailto:lanikolaeva_ipng@mail.ru)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=545852](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=545852)

### **Андреева Айтилина Валентиновна**

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия  
Институт проблем нефти и газа — обособленное подразделение  
Младший научный сотрудник  
E-mail: [aita1973@mail.ru](mailto:aita1973@mail.ru)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=176000](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=176000)

### **Копылов Виктор Евгеньевич**

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия  
Институт проблем нефти и газа — обособленное подразделение  
Старший научный сотрудник  
Кандидат технических наук  
E-mail: [kopvic@gmail.com](mailto:kopvic@gmail.com)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=671476](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=671476)

### **Саввинова Мария Евгеньевна**

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия  
Институт проблем нефти и газа — обособленное подразделение  
Старший научный сотрудник  
Кандидат технических наук  
E-mail: [Maria-svv@yandex.ru](mailto:Maria-svv@yandex.ru)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=175755](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=175755)

## Исследование физико-химических свойств минерального сырья для модификации серобетонов

**Аннотация.** Промышленность строительных материалов является одной из приоритетных отраслей, определяющей текущее состояние национальной экономики России и потенциал ее развития. В Стратегии развития промышленности строительных материалов приоритетное место уделено выпуску новых типов композитных строительных материалов, снижающих материалоемкость, повышающих энергоэффективность, надежность и долговечность зданий и сооружений.

Сложившиеся экономические отношения показывают, что рынок бетонных материалов нуждается в конкурентоспособной продукции относительно низкой стоимости. Такая продукция может быть получена, в том числе, с использованием местного природного сырья, отходов промышленности и переработки.

Проведенный анализ текущего состояния промышленности освоенных строительных материалов на территории Республики Саха (Якутия) показал, что преобладающими материалами минерально-сырьевой базы являются пески и песчано-гравийные смеси. Кроме того, распространение минерального сырья для производства строительных материалов неравномерно по территории Якутии, в связи с чем стоит обратить внимание на поиск альтернативных источников сырья и создания конгломератов на их основе.

В последнее время повышенный интерес сложился к серосодержащим материалам, в которых сера выполняет роль основополагающего компонента и обеспечивает высокий технический эффект — гидрофобность, достаточно высокую прочность, морозостойкость, долговечность, необходимый для композиционных дорожно-строительных материалов, эксплуатирующихся в условиях Якутии.

В данной работе оценена возможность использования местного минерального сырья Якутии в качестве заполнителей (песок, отсев щебня) и модифицирующих добавок (известняковый минеральный порошок, зола от сжигания древесины, отходы бурых углей, цемент, цеолит) для производства серобетонов, исследованы его физико-химические характеристики.

**Ключевые слова:** бетон; модифицированный бетон; серобетон; природное сырье; бурый уголь; цеолит; зола; сера

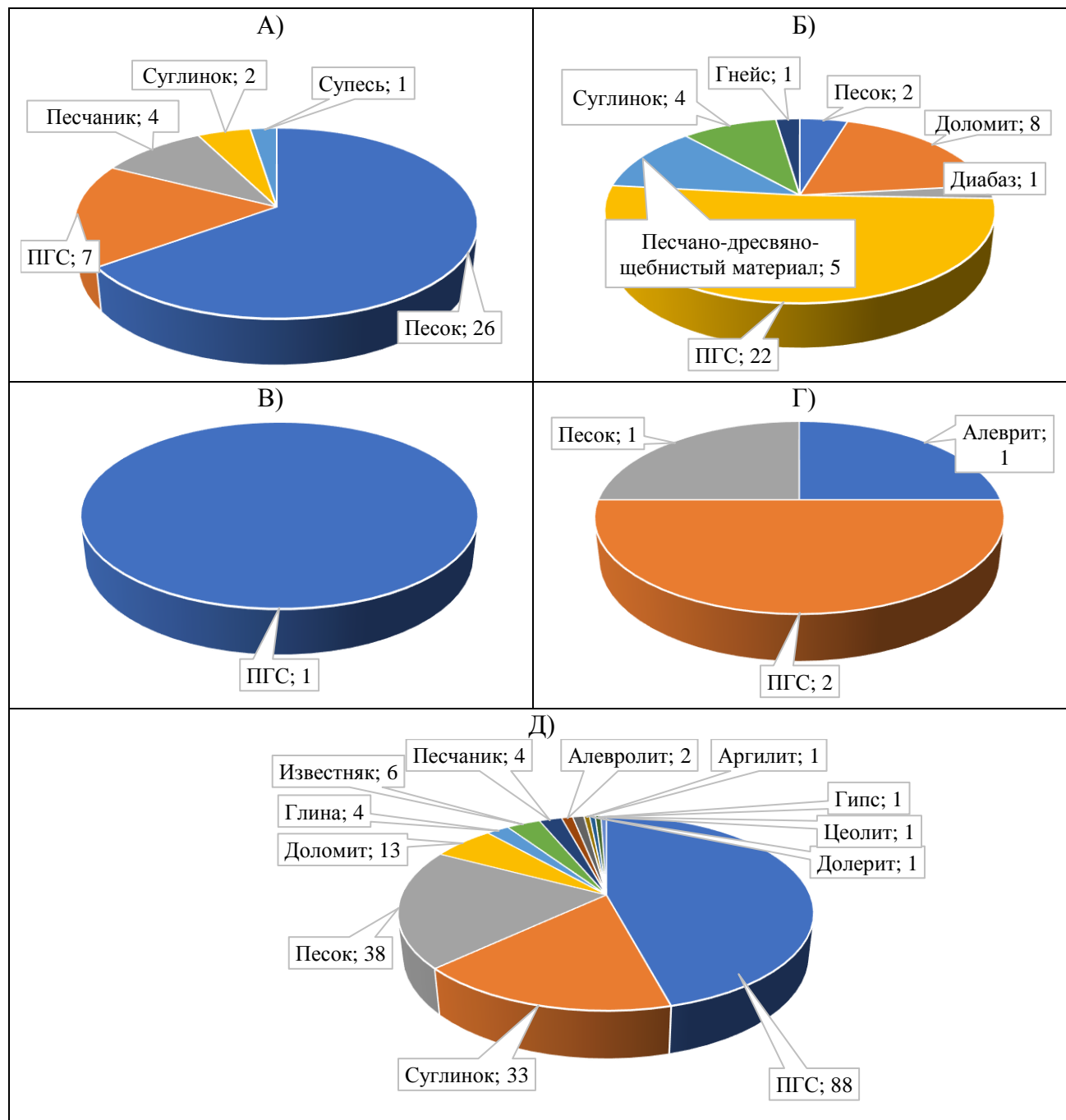
### Введение

Анализ текущего состояния промышленности строительных материалов Республики Саха (Якутия) показал, что собственная минерально-сырьевая база региона в основном представлена песками и песчано-гравийными смесями (ПГС), которые могут быть использованы для производства ограниченного ассортимента строительных материалов. В технологиях производства высокопрочных бетонов, являющихся одним из основных материалов в строительной индустрии, данное сырье практически не используется.

Данные по количеству месторождений основных строительных материалов, используемых для получения строительных материалов, по экономическим зонам Республики Саха (Якутия) представлены на рисунке 1.

Так в Центральной экономической зоне, запасы песков составляют 65 % от всего объема строительных материалов, ПГС — 17,5 %, остальные материалы представлены каменным песчаником, суглинками и супесями. Западная Якутия характеризуется наличием достаточно

разнообразных строительных материалов, однако, и здесь основными являются ПГС и пески. Доля ПГС составляет 46 % от общего объема запасов минерального сырья, песков — 20 % и суглинков — 17 %.



**Рисунок 1.** Месторождения строительных материалов Республики Саха (Якутия): (А) Центральная экономическая зона; (Б) Южная экономическая зона; (В) Арктическая экономическая зона; (Г) Восточная экономическая зона; (Д) Западная экономическая зона (составлено авторами на основе открытых данных<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 10.05.2016 N 868-р (ред. от 23.11.2016) «О Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года».

Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 30.11.2019 № 353 "Об утверждении Схемы территориального планирования Республики Саха (Якутия)".

Кроме этого, на территории Западной Якутии располагаются месторождения перспективного минерального сырья, представленного цеолитами, гипсом, доломитами. Разведанные и освоенные месторождения Арктической зоны Якутии представлены песчано-гравийными смесями, что значительно затрудняет развитие строительной инфраструктуры в этой экономической зоне. В Восточной экономической зоне Якутии 50 % от общих запасов строительных материалов составляют песчано-гравийные смеси и по 25 % — песок и алевролит. Стоит отметить, что алевролит является ценным сырьем для производства цемента, кирпича и керамзита. Южная экономическая зона Республики Саха (Якутия) располагает месторождениями ПГС (50 %), доломитов (18 %), песчано-дресвяно-щебнистого материала (11 %), а также диабазов, гнейса, доломитов.

Таким образом, анализ проведенных исследований показал, что запасы кондиционного минерального сырья для производства бетонных композитов расположены по территории Якутии крайне неравномерно и существует необходимость поиска альтернативных источников сырья, в том числе некондиционного и отходов промышленности и переработки, для разработки материалов с высоким комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств. Так, в последнее время повышенный интерес сложился к серосодержащим материалам, в которых сера выполняет роль основополагающего компонента и обеспечивает высокий технический эффект — гидрофобность, достаточно высокую прочность, морозостойкость, долговечность, необходимый для композиционных дорожно-строительных материалов, эксплуатирующихся в условиях Якутии.

### Структурные исследования сырья

В качестве исходного сырья для производства серных бетонов были выбраны: песок речной и отсева известнякового щебня (заполнители), цеолит природный, отходы бурого угля, минеральный известняковый порошок, зола от сжигания древесины, портландцемент (модификаторы), техническая и модифицированная сера (вяжущие).

С целью определения основных породообразующих минералов в смесях был проведен рентгенофазовый анализ проб на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker (Германия), CuK $\alpha$  излучение, 30 кв, 10 ма. При этом была использована база данных PDF 2. Для классификации минеральных порошков по содержанию кремнезема и оксидов натрия и калия был проведен элементный анализ в соответствии с ГОСТ 13637.1-93 «Галлий. Атомно-эмиссионный метод определения алюминия, висмута, железа, кремния, магния, марганца, меди, никеля, олова, свинца, хрома и цинка» на многоканальном анализаторе эмиссионных спектров (МАЭС).

Следует отметить, что плохо окристаллизованные минералы в количествах менее 1–2 масс. % могут быть не выявлены в сложной полиминеральной смеси. Помимо этого, формулы, приведенные для минералов стандартов, нельзя отождествлять с формулами реально присутствующих в пробе минералов, поскольку возможные изоморфные замещения в формуле минерала могут не привести к существенным изменениям метрики элементарной ячейки и соответственно рентгенограммы.

На рисунках 2–5 представлены типичные рентгенограммы проб песка и щебня.

Анализ полученных результатов показал (рис. 2), что проба песка представлена смесью минералов, основным минералом является кварц. В примесях зафиксированы минералы из группы полевых шпатов, слюд и монтмориллонита (смещение пика 14.34 Å после насыщения образца). Проведенный рентгенофазовый анализ известнякового щебня (рис. 3) показал наличие кальцита, являющегося основным минералом, кварц, минерал из группы слюд, доломит, минерал из группы серпентина, а также минерал из группы каолинита, вероятно цеолит из группы гейландита-клиноптилолита.

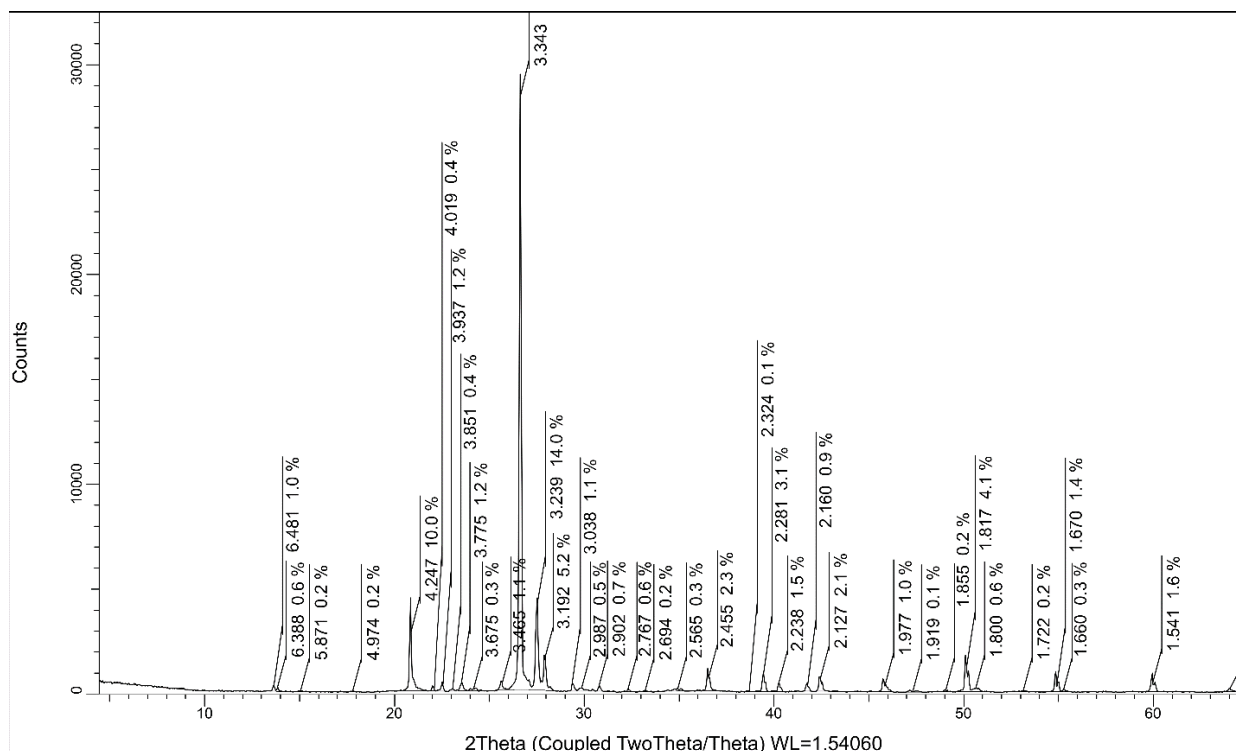


Рисунок 2. Типичная рентгенограмма проб песка (составлено авторами)

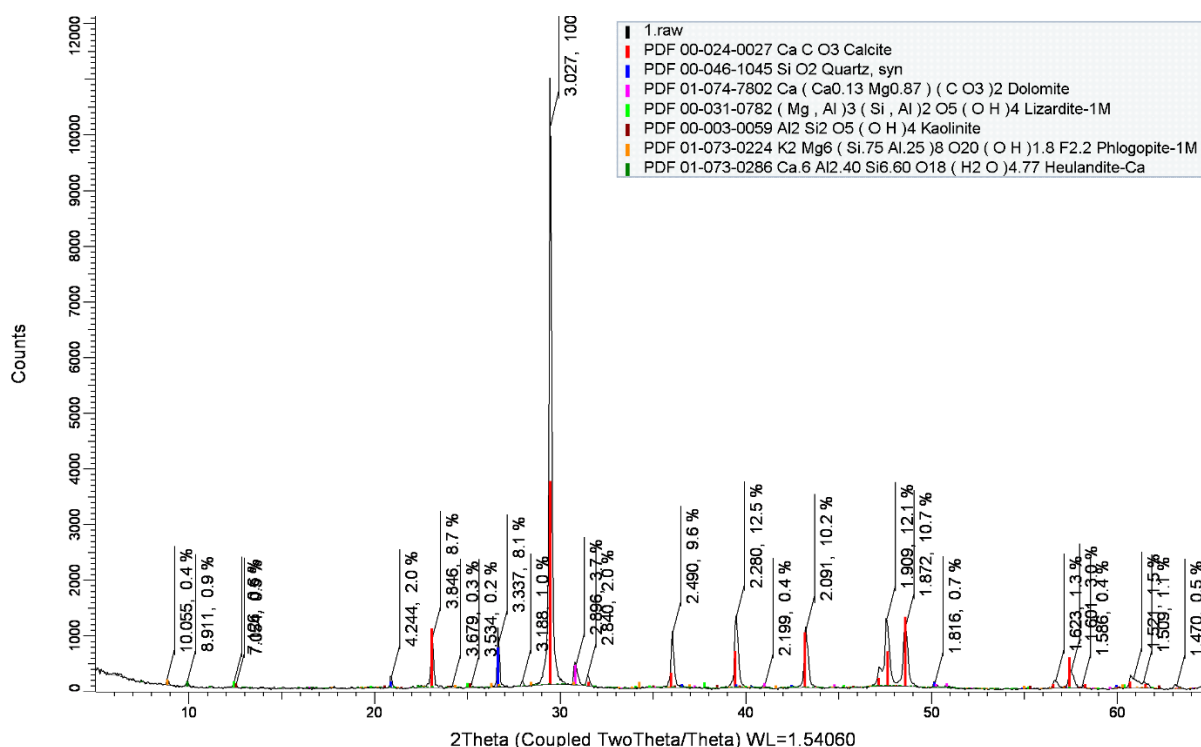


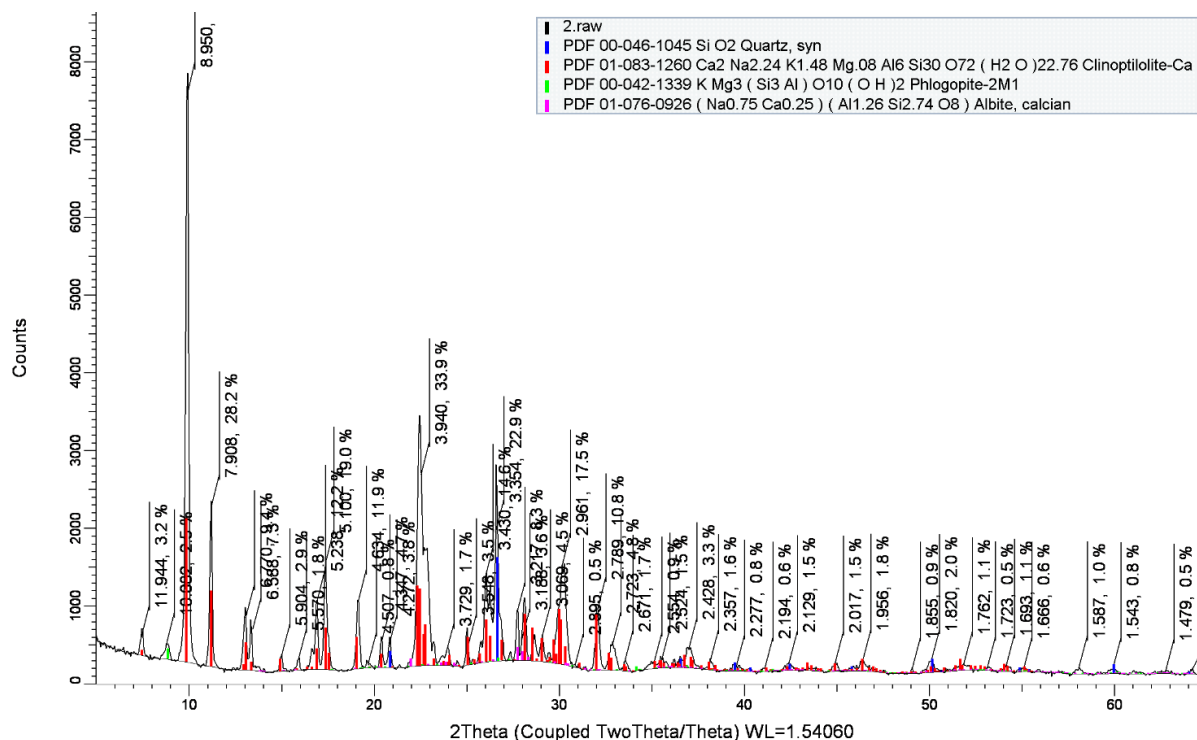
Рисунок 3. Типичная рентгенограммы проб щебня (составлено авторами)

Далее проведена оценка возможности использования цеолитов в качестве модификаторов для производства высокопрочных бетонов. В исследованиях использовали цеолит Кемпендяйского месторождения (Якутия) из наиболее освоенного пласта III (Хонгурин III), который представляет собой природный минерал, со структурой, напоминающей тонкопористую губку, содержание клиноптилолита в котором составляет

75–90 %. Кемпендяйский цеолитоносный район крупнейший на территории Якутии и имеет запасы около 3,5 млрд тонн сырья.

Характерной особенностью цеолитов является наличие в плотной кристаллической решетке полостей и каналов, проходящих через весь каркас. Благодаря этому цеолиты обладают высокой удельной поверхностью, чем обуславливается их высокая реакционная способность [1–4].

По дифрактограмме минерального порошка из природного цеолита, представленной на рисунке 5, можно сделать вывод, что основным минералом, слагающим исходную горную породу, является цеолит из группы гейландита — клиноптилолита, также имеются кварц, минерал из группы полевых шпатов и минерал из группы слюд.



**Рисунок 4.** Дифрактограмма минерального порошка из природного цеолита (составлено авторами)

В качестве модификатора бетонных смесей в исследованиях также использованы низкосортные бурые угли Кангаласского бурогоугольного месторождения Республики Саха (Якутия), запасы которого оцениваются в 87 млн т. Существует проблема рационального использования данного угля как вида топлива, потому как около 50–60 % от общего добываемого количества составляют мелкие фракции. Уголь таких фракций имеет ограниченный рынок сбыта, в связи с чем связано накопление в угольных месторождениях миллионов тонн угольных шламов, которые занимают огромные площади [5–7].

Представленная на рисунке 5 дифрактограмма минерального порошка из бурого угля свидетельствует о том, что основным минералом, слагающим данный материал, является кварц, помимо этого имеются минералы из группы каолинита. Судя по поднятию фона на дифрактограмме можно предположить наличие аморфной фазы.

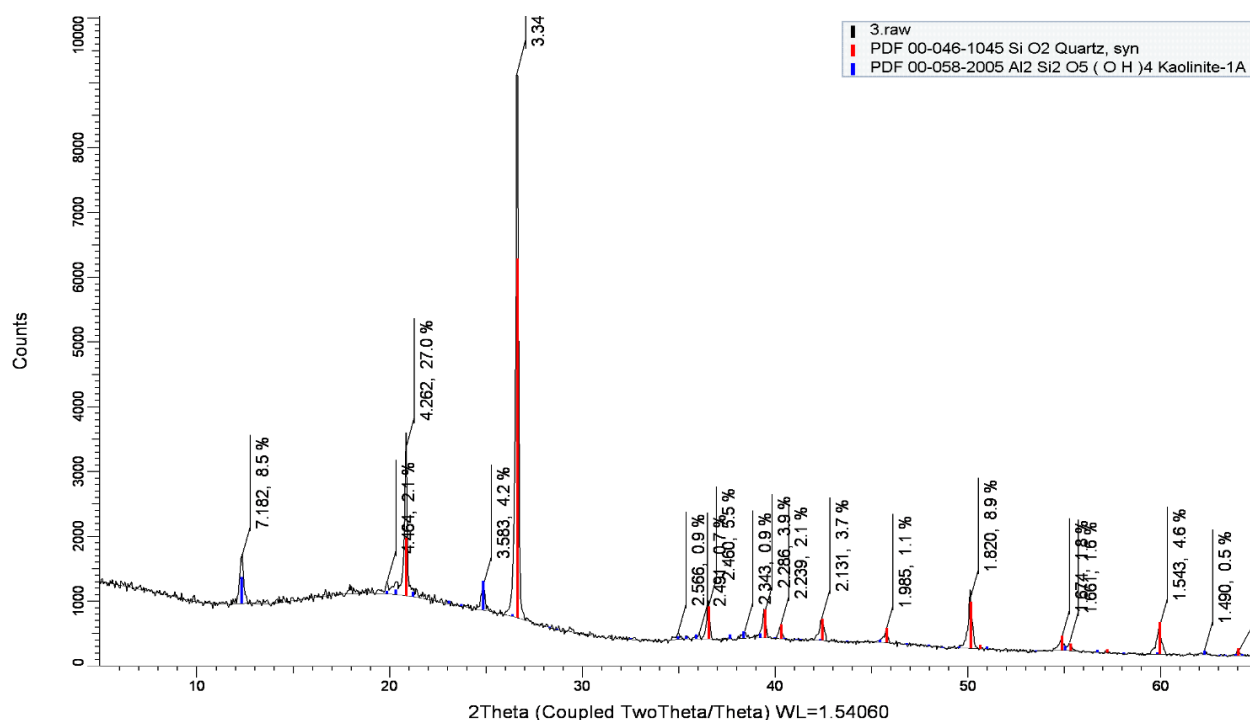
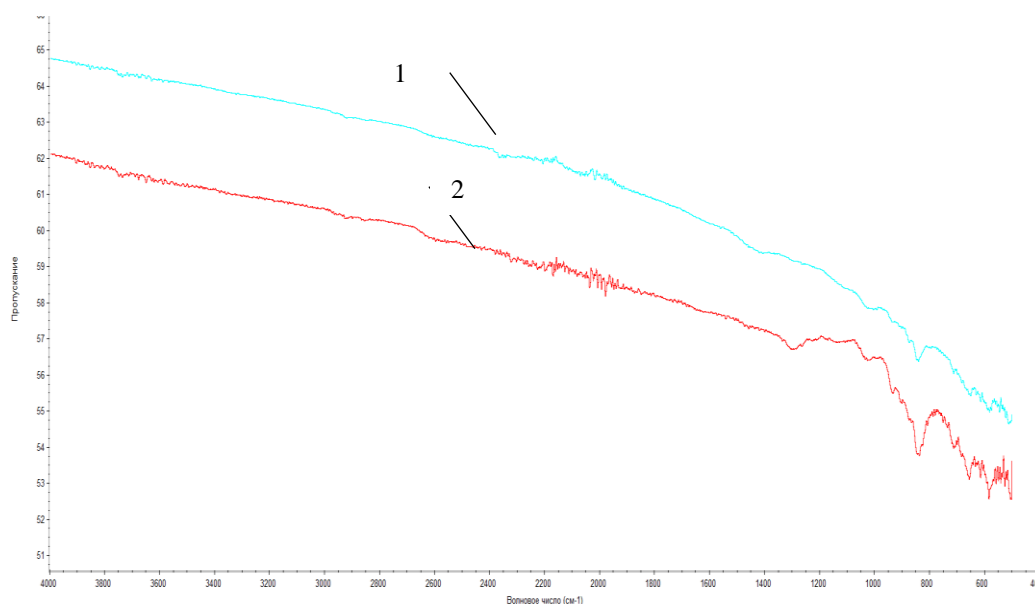


Рисунок 5. Дифрактограмма минерального порошка из бурого угля (составлено авторами)

### Исследования физико-химических свойств серных вяжущих

Согласно данным производителя модифицированной серы GreenCrete™ (ООО «Губкинский инженерно-технический центр»), ее отличает от технической серы наличие полисульфидных цепей, характеризующихся сниженной реакционной способностью при повышенных температурах, что сокращает выделение токсичного сероводорода. Наличие полисульфидов в модифицированной сере подтверждается результатами ИК-спектроскопии, представленными на рисунке 6.

Для получения ИК-спектров использовали прибор Nicolet Protégé 460 ESP с установленной приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), оснащенной алмазной призмой. Спектры регистрировали в диапазоне  $500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ , с разрешением  $2\text{ см}^{-1}$ . Количество сканирований для получения одного усредненного спектра равнялось 32. Обработку спектров проводили в программе OMNIC.



1 — техническая, 2 — модифицированная

**Рисунок 6.** ИК-спектры серы (составлено авторами)

Установлено увеличение пропускания в области  $1200\div 1050\text{ см}^{-1}$ , которое скорее всего, связано с ростом количества двойных ковалентных связей между молекулами углерода и серы (C = S). Изменения интенсивности полосы поглощения в области  $710\div 570\text{ см}^{-1}$  соответствуют валентным колебаниям полисульфидов (C-S), что свидетельствует об увеличении количества данных связей в модифицированной сере. Имеющиеся характерные участки ИК-спектра модифицированной серы позволяют предположить о присутствии в ней полимерных модификаций.

С целью подтверждения данного факта было определено наличие доли нерастворимого остатка. Известно [8–10], что полимерная форма серы нерастворима в органических растворителях, таких как бензол, анилин, гептан, сероуглерод, толуол и др. Содержание и доля нерастворимой части в композиции характеризует полноту реакции образования высокомолекулярных соединений серы.

Аллотроп серы  $S_\mu$ , который представляет собой цепочечные полимерные структуры, не растворяется в выше приведенных растворителях. В модифицированной нами сере, часть серы находится в виде химических соединений с модификатором, в том числе в виде высокомолекулярных структур — сополимеров серы с модификатором. Этот сополимер аналогичен по растворимости  $\mu$ -аллотропии серы и также не растворяется в вышеприведенных растворителях. В качестве растворителя для экстракции серы использовали толуол, как наиболее приемлемый растворитель. Растворимость серы в толуоле при  $20^\circ\text{C}$  составляет 1,8 мас. %, при  $60^\circ\text{C}$  — около 6,5 мас. %<sup>2</sup>. Для определения содержания химически связанной в полисульфиды серы в композициях использовали методику определения массовой доли нерастворимой части. Сущность метода заключается в экстракции растворителем (толуолом) несвязанной элементной серы.

Физико-химические свойства серных вяжущих, определенных согласно ГОСТ Р 56249-2014, представлены в таблице 1.

<sup>2</sup> Свидетельство об аттестации методики измерений массовой доли нерастворимой части в модифицированной сере экстракционно-гравиметрическим методом № 88-16374-101-01.00076-2013.



**Таблица 1**

**Физико-химические показатели технической и модифицированной серы**

| Наименование показателя   | Требования<br>ГОСТ Р<br>56249-2014 | Показатели   |   |
|---|------------------------------------|--|---|
|   |                                    | техническая сера*  | модифицированная<br>сера GreenCrete™**  |
| Внешний вид   | -                                  | Порошок желтого цвета без присутствия механических загрязнений (бумага, дерево, песок и др.) | Гранулы разных оттенков желтого цвета сферической, полусферической и других геометрических форм. Без присутствия механических загрязнений (бумага, дерево, песок и др.) |
| Массовая доля серы, %, не менее                                 | 99,20/99,0                         | 99,80  | 96,14   |
| Массовая доля золы, %, не более                                 | 0,300                              | 0,119  | 3,67  |
| Массовая доля органических веществ, %, не более                 | 0,450/1,0                          | 0,079  | 0,19  |
| Массовая доля кислот в пересчете на серную кислоту, %, не более | 0,020/-                            | 0,000194   | 0,0021  |
| Массовая доля воды, %, не более                                 | 0,5/0,5                            | 0,1  | 0,2   |
| Массовая доля нерастворимой части, %, не менее                  |                                    |  |   |
| Высший сорт   | 15,0                               | -  | -   |
| Первый сорт   | 8,0                                | -  | 9,61  |
| Второй сорт   | 8,0                                | -  | -   |

\* Над чертой (/) показатели ГОСТ для технической серы, \*\* под чертой (/) показатели ГОСТ для модифицированной серы. Составлено авторами

Анализ результатов исследования свойств технической серы показал ее полное соответствие требованиям ГОСТ Р 56249-2014, тогда как модифицированная сера GreenCrete™, представленная ООО «Губкинский инженерно-технический центр», не отвечает требованиям ГОСТ по содержанию массовых долей серы и золы. Тем не менее, было установлено наличие в модифицированной сере 9,61 % химически связанной в полисульфиды серы, тогда как в технической сере подобного нерастворимого остатка не было обнаружено (табл. 1).

Известно, что кристаллическая сера как вяжущее помимо неоспоримых достоинств имеет и недостатки, такие как высокая хрупкость и термоусадка. Модифицирование серы способствует устранению данных недостатков, при этом наиболее простым способом модифицирования является механический, связанный с изменением структуры серы в результате искусственного увеличения центров кристаллизации, что достигается путем наполнения расплава серы тонкодисперсными инертными наполнителями. Экспериментально установлено, что на прочность серного вяжущего влияет величина удельной поверхности наполнителя. Причем, чем выше дисперсность, тем выше прочность монолита и меньше расход серы для обеспечения максимальной прочности на единицу поверхности наполнителя [11–12]. Кроме этого, на прочность серного вяжущего также оказывают влияние форма и характер поверхности наполнителя. Так, введение в расплав серы одинакового количества наполнителей с различными свойствами поверхности и степенью дисперсности приводит к образованию структур различной прочности [12–14].

Для исследования текстурных характеристик модифицирующих добавок было проведено определение удельной поверхности порошков методом воздухопроницаемости (на приборе ПСХ-2) согласно ГОСТ 310.2-76.

Сущность метода определения удельной поверхности порошков заключается в измерении сопротивления, оказываемого воздуху, просасываемому через слой порошка установленной толщины (высоты) и площади поперечного сечения, уплотненного до определенного содержания пустот в единице объема.

**Таблица 2**

**Текстурные характеристики порошков**

| Порошки                  | Истинная плотность, г/см <sup>3</sup> | Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г | Средний размер частиц, мкм |
|--------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| Минеральный порошок (МП) | 2,6400                                | 2493,4000                                | 9,1147                     |
| Портландцемент (ПЦ)      | 3,2000                                | 3487,7000                                | 5,3759                     |
| Угольная пыль (УП)       | 1,3500                                | 1169,3000                                | 38,0080                    |
| Цеолит (Ц)               | 2,2600                                | 4067,1000                                | 6,5372                     |
| Зола (З)                 | 1,7500                                | 3792,5000                                | 9,0402                     |

*Составлено авторами*

В таблице 2 представлены данные текстурных характеристик порошков, используемых в серобетонных композициях в качестве модификаторов смесей. Установлено увеличение удельной поверхности порошков в ряду УП-МП-ПЦ-З-Ц, что, согласно [15], предопределяет увеличение прочности при сжатии образцов серобетонов, модифицированных данными порошками, по аналогичной зависимости.

Таким образом, анализ имеющихся научно-технических данных [7–10; 11–14] и полученные результаты физико-химических свойств исходного сырья для изготовления серобетонов показал, что в случае применения серного вяжущего взамен портландцементов возможно получение бетонов с высокими физико-механическими свойствами, в том числе при использовании некондиционных заполнителей, что дает возможность рекомендовать их для производства композиционных строительных материалов с высоким комплексом технических и эксплуатационных свойств. При этом рекомендовано введение в смеси высокодисперсных модифицирующих добавок различного генезиса и строения [15].

**Заключение**

1. Проведен анализ разведанных запасов минерального сырья Республики Саха (Якутия) для производства строительных материалов. Установлено, что месторождения кондиционного каменного сырья для производства композиционных строительных материалов имеют не только неравномерную дислокацию на территории Республики, но и ограниченные запасы.
2. Для расширения ассортимента используемых сырьевых материалов и снижения стоимости производства строительных композитов необходим поиск альтернативных источников сырья, в том числе некондиционных природных материалов различного строения и генезиса, а также отходов добычи и переработки полезных ископаемых, промышленности, предполагая возможность частичной или полной замены традиционных составляющих бетонной смеси.
3. Для обеспечения высоких физико-механических показателей предлагается использовать модифицирующие добавки, оказывающие направленное воздействие на структурообразование бетонных композитов на основе серного вяжущего.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колодезников К.Е. Кемпендяйские цеолиты — новый вид минерального сырья в Якутии / К.Е. Колодезников. — Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. — 53 с.
2. Цицишвили Г.В. Природные цеолиты / Г.В. Цицишвили, Г.Т. Андроканишвили, Г.Н. Киров — М.: Химия, 1985. — 224 с.
3. Попов С.Н. Особенности брикетирования бурых углей Якутии / С.Н. Попов, Б.Н. Заровняев, О.Н. Буренина и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 9. — С. 405–412.
4. Богатиков О.А. Магматические горные породы / О.А. Богатиков, А.К. Симон, Шарков Е.В. — М.: Наука, Т. 1: Классификация, номенклатура, петрография. Ч. 2, 1983 г. — 768 с.
5. Николаева Л.А. Топливные брикеты из бурых углей Якутии / Л.А. Николаева, В.Г. Латышев, О.Н. Буренина // Химия твердого топлива. — 2009. — № 2. — С. 55–59.
6. Николаева Л.А. Брикетирование бурого угля с использованием модифицированного гудрона / Л.А. Николаева, С.Н. Попов. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. — 122 с.
7. Lyahevich G.D. Technology and Efficiency in Usage of Brown Coal Ash for Cement and Concrete Mixtures at the Lelchitsky Deposit / G.D. Lyahevich, I.I. Lishtvan, A.G. Lyahevich, V.M. Dudarchik, V.M. Kraiko, S.A. Zvonnik // Science and Technique. — 2017. — Vol. 16, Issue 2. — P. 104–112.
8. Воронков М.Г. Реакции серы с органическими соединениями / М.Г. Воронков Н.С. Вязанкин, Э.Н. Дерягина и др. — Н.: Наука, 1979. — 368 с.
9. Меньковский М.А. Технология серы / М.А. Меньковский, В.Т. Яворский. — М.: Химия, 1985. — 286 с.
10. Meyer V. Elemental sulfur / V. Meyer // Chemical Reviews. — 1976. — Vol. 76, No. 3. — P. 367–388.
11. Скрипунов Д.А. Процесс модификации как вариант расширения области использования серы / Д.А. Скрипунов, Н.В. Мотин, В.И. Неделькин // Химическая промышленность сегодня. — 2015. — № 8. — С. 18–23.
12. Прокофьева В.В. Использование попутных продуктов обогащения железных руд в строительстве на Севере / В.В. Прокофьева, П.И. Боженков, А.И. Сухачев и др. — Л.: Стройиздат, 1986. — 176 с.
13. Орловский Ю.И. Исследование свойств модифицированных серных вяжущих / Ю.И. Орловский, Л.Е. Труш, Е.В. Юрьева // Известие вузов: Строительство и архитектура. — 1985, № 4. — С. 66–69.
14. Орловский Ю.И. Бетоны, модифицированные серой / Ю.И. Орловский. — Харьков: Строительство, 1992. — 529 с.
15. Кухаренко Л.В. Серобетон на основе местного сырья и промышленных отходов Норильского региона / Л.В. Кухаренко, Н.В. Личман, И.В. Никитин // Строительные материалы. — 2000. — № 1. — С. 25–26.

### **Burenina Olga Nikolaevna**

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
Institute of Oil and Gas Problems — Division of Federal Research Centre  
E-mail: [bon.ipng@mail.ru](mailto:bon.ipng@mail.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=545851](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=545851)

### **Nikolaeva Lira Aleksandrovna**

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
Institute of Oil and Gas Problems — Division of Federal Research Centre  
E-mail: [lanikolaeva\\_ipng@mail.ru](mailto:lanikolaeva_ipng@mail.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=545852](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=545852)

### **Andreeva Aitalina Valentinovna**

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
Institute of Oil and Gas Problems — Division of Federal Research Centre  
E-mail: [aita1973@mail.ru](mailto:aita1973@mail.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=176000](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=176000)

### **Kopylov Viktor Evgenievich**

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
Institute of Oil and Gas Problems — Division of Federal Research Centre  
E-mail: [kopvic@gmail.com](mailto:kopvic@gmail.com)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=671476](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=671476)

### **Savvinova Maria Evgenievna**

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
Institute of Oil and Gas Problems — Division of Federal Research Centre  
E-mail: [Maria-svv@yandex.ru](mailto:Maria-svv@yandex.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=175755](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=175755)

## **Study of the physicochemical properties of mineral raw materials for the modification of sulfur concrete**

**Abstract.** The building materials industry is one of the priority sectors that determines the current state of the national economy of Russia and the potential for its development. In the Strategy for the Development of the Building Materials Industry, priority is given to the production of new types of composite building materials that reduce material consumption, increase energy efficiency, reliability and durability of buildings and structures.

The existing economic relations show that the concrete materials market needs competitive products of relatively low cost. Such products can be obtained, among other things, using local natural raw materials, industrial and processing waste.

The analysis of the current state of the industry of mastered building materials on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) showed that the predominant materials of the mineral resource base are sand and sand-gravel mixtures. In addition, the distribution of mineral raw materials for the production of building materials is uneven across the territory of Yakutia, and therefore it is worth paying attention to the search for alternative sources of raw materials and the creation of conglomerates based on them.

Recently, there has been an increased interest in sulfur-containing materials, in which sulfur plays the role of a fundamental component and provides a high technical effect — hydrophobicity, sufficiently high strength, frost resistance, durability necessary for composite road construction materials operating in Yakutia.

In this paper, the possibility of using local mineral raw materials of Yakutia as aggregates (sand, crushed stone screenings) and modifying additives (limestone mineral powder, wood ash, brown coal waste, cement, zeolite) for the production of sulfur concrete was evaluated, its physicochemical characteristics were studied.

**Keywords:** concrete; modified concrete; sulfur concrete; natural raw materials; brown coal; zeolite; ash; sulfur