

УДК 681.5:666.32(571.56)

ГЛИНИСТОЕ СЫРЬЕ ЯКУТИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА**Местников А.Е.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: mestnikovae@mail.ru*

В статье приводятся результаты аналитических исследований структуры и свойств глинистого сырья Якутии и способов их обогащения для производства керамзита. Обобщены данные геологических изысканий и лабораторных исследований глинистого сырья ранее использованных и перспективных месторождений. Установлено, что исследуемое глинистое сырье в основном относится к легкоплавким глинам и суглинкам, умеренно пластичным, мало- и средневспучивающимся, со средним содержанием Al_2O_3 , диоксида кремния и оксидов железа в пересчете на Fe_2O_3 , высоким содержанием органических веществ. К таким исходным материалам применяются традиционные способы обогащения: разрыхление, удаление органических и каменных включений, измельчение и перемешивание. На их основе действующие заводы выпускали керамзитовый гравий марки по насыпной плотности 500 и 600 с прочностью П100 и П125 соответственно. В отдельных случаях, например из кусочков аргиллитов и алевролитов, имеется возможность получения высокопрочного керамзитового щебня П200 и выше со средней насыпной плотностью 800–1000 kg/m^3 . Для снижения насыпной плотности до 350–450 kg/m^3 дополнительно могут быть использованы комплексные добавки – модификаторы и опудриватели. Отмечено, что решающим фактором для выбора места организации производства керамзита является наличие высококачественного сырья и достаточных энергетических ресурсов, а также потребность в конечной продукции для промышленного и гражданского строительства с учетом стратегии развития Арктической зоны РФ. Установлена возможность получения керамзитобетонных блоков плотностью 700–1000 kg/m^3 , прочностью 3,5–7,5 МПа и теплопроводностью 0,18–0,27 $Вт/м\cdot^{\circ}C$, а также легких стеновых блоков плотностью 550–700 kg/m^3 , прочностью 2,5–3,5 МПа и теплопроводностью 0,15–0,18 $Вт/м\cdot^{\circ}C$.

Ключевые слова: глинистое сырье, обогащение, химический состав, коэффициент вспучивания, температура обжига, насыпная плотность, прочность, керамзитобетон

**CLAY RAW MATERIALS OF YAKUTIA
FOR THE PRODUCTION OF LEAVED LEAF****Mestnikov A.E.***North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru*

The article presents the results of analytical studies of the structure and properties of the clay raw materials of Yakutia and methods of their enrichment for the production of expanded clay. The data of geological surveys and laboratory studies of clay raw materials of previously used and promising deposits are summarized. It has been established that the studied clay raw materials mainly refer to low-melting clays and loams, moderately plastic, low- and medium-swelling, with an average content of Al_2O_3 , silicon dioxide and iron oxides in terms of Fe_2O_3 , and a high content of organic substances. Traditional enrichment methods such as loosening, removal of organic and stony inclusions, grinding and mixing are applied to such source materials. Based on them, the operating plants produced expanded clay gravel of the grade according to the bulk density of 500 and 600 with the strength of P100 and P125, respectively. In some cases, for example, from pieces of mudstones and siltstones, it is possible to obtain high-strength expanded clay crushed stone P200 and higher with an average bulk density of 800-1000 kg/m^3 . To reduce the bulk density to 350-450 kg/m^3 , additional complex additives – modifiers and powdering agents – can be used. It is noted that the decisive factor for choosing a place for organizing the production of expanded clay is the availability of high-quality raw materials and sufficient energy resources, as well as the need for final products for industrial and civil construction, taking into account the development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation. The possibility of obtaining expanded clay concrete blocks with a density of 700-1000 kg/m^3 , strength of 3.5-7.5 MPa and thermal conductivity of 0.18-0.27 $W/m\cdot^{\circ}C$, as well as light wall blocks with a density of 550-700 kg/m^3 , strength 2.5-3.5 MPa and thermal conductivity 0.15-0.18 $W/m\cdot^{\circ}C$.

Keywords: clay raw materials, enrichment, chemical composition, expansion coefficient, firing temperature, bulk density, strength, expanded clay concrete

Керамзит во все времена был и является одним из самых эффективных теплоизоляционных материалов [1]. К преимуществам керамзита относятся экологическая чистота, пожарная безопасность, низкие значения плотности и коэффициента теплопроводности. Керамзит по классификации относится к пористым заполнителям для легких бетонов, называемых керамзитобетоном и имеющих широкое применение в строительстве [2].

Основу керамзитового сырья представляют: а) тонкодисперсные осадочные породы, состоящие из глинистых минералов (монтмориллонита, каолинита, гидрослюда и др.), содержащие минеральные и органические примеси; б) камнеподобные глинистые породы; в) трудно- и невспучивающиеся глины, требующие применения специальных способов обогащения. Производство керамзита из глинистого сырья является энергоемким производством, где

основное технологическое оборудование представлено вращающейся печью с температурой вспучивания гранул в интервале от 1050 до 1250 °С. Выпускаемая продукция представляет собой закрытоячеистые высокопористые керамзитовые гранулы, щебень и песок с различной насыпной плотностью [3].

По основным свойствам глинистое сырье для производства керамзита должно содержать частицы глинистых минералов не менее 30% мас. с крупностью менее 0,005 мм, менее 0,001 мм – не менее 15% мас., а также иметь свободного диоксида кремния SiO₂ – не более 30% мас., число пластичности – не менее 10, огнеупорность – не более 1350 °С, коэффициент вспучивания – не менее 2,5 [4].

Глины и суглинки большинства известных месторождений относятся к низкогокачественному сырью, поэтому они оказываются нерентабельными по экономическим показателям. Такое глинистое сырье требует, кроме глубокой переработки сырья (обогащения), использования модифицирующих добавок (например, молотого каменного угля, солярового масла, мазута, огнеупорных и тугоплавких глин и др.) с целью повышения вспучиваемости исходных гранул и улучшения прочностных характеристик полученного керамзитового гравия [5].

Целью исследования является изучение структуры и свойств глинистого сырья Якутии и способов управления технологическим процессом производства керамзита.

Материалы и методы исследования

По результатам ранее проведенных геологических изысканий строительных

материалов Республики Саха (Якутия) [6] керамзитовое сырье представлено 19 месторождениями, подготовленными к промышленному освоению, а также 24 месторождениями, не учтенными сводным балансом запасов и проявлений. Из них эксплуатировались только 4 месторождения, три из которых в Центральной Якутии: Мархинское, Уулахское и Сытыганское. На их основе работали два производства керамзита, в пос. Северный, Мархинский завод строительных материалов, вблизи г. Якутска, и поселке Мохсоголлох – Бестяхский завод ЖБИ [7]. Юлегирское месторождение находится в Западной экономической зоне (вблизи г. Мирный) и эксплуатировалось предприятием «Якуталмаз».

Научно-практический интерес представляют разведанные месторождения, в том числе не учтенные сводным балансом запасов и проявлений, относящиеся к Арктической зоне и развивающимся группам районов Республики Саха (Якутия).

Ниже приводятся результаты аналитических исследований глинистого сырья Якутии и способов их обогащения для производства керамзита, необходимых для разработки предпроектных предложений по организации новых производств.

Результаты исследования и их обсуждение

В первую очередь следует рассмотреть исходные материалы ранее эксплуатированных месторождений керамзитового сырья [6, 7]. В основном глинистое сырье рассматриваемых месторождений по содержанию химических составляющих соответствует требованиям ГОСТ 32026-2012, кроме количества органических включений (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав глинистого сырья эксплуатированных месторождений

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	SO ₂	п.п.п.
Требования ГОСТ 32026-2012, % мас.								
< 70	10–25	0,1–2,0	2,5–12,0	< 6,0	< 4,0	1,5–6,0	< 1,5	< 3,0
Мархинское месторождение (г.Якутск)								
66,67	15,35	0,68	2,75	–	–	–	–	5,41
Уулахское месторождение (г. Покровск)								
53,37	18,23	5,81	2,75	–	1,45	1,47	–	4,23
Сытыганское месторождение (пос. Мохсоголлох)								
56,06	17,42	–	7,27	1,03	1,15	3,91	1,13	9,68
Юлегирское месторождение (г. Мирный)								
67,34	14,41	0,93	6,20	1,63	1,54	3,81	–	4,52

По минералогическому составу глины Мархинского месторождения относятся к монтмориллониту с гидрослюдой. Полузаводскими испытаниями установлено, что при составе шихты «глина + 1% мас. солярового масла» оптимальная температура обжига составила 1180 °С, коэффициент вспучивания 2,3, марка керамзита по средней насыпной плотности 500, предел прочности при сжатии 3,2 МПа. Однако частые прослойки некондиционных пород в толще полезного слоя затрудняют эксплуатацию месторождения. В связи с этим Мархинский завод строительных материалов организовал производство керамзита на основе сырья Уулахского месторождения.

Глинистое сырье Уулахского месторождения представлено пачкой глин серых, темно-серых, коричневато-серых, гидрослюдистых, пластичных, комковатого сложения, с тонкими прослоями алевролитов и аргиллитов. Температура начала вспучивания у большинства проб находится в пределах 1120–1150 °С, а при температуре 1150–1250 °С они имеют округлую форму, шероховатую поверхность. В 1970–1980-х гг. на основе данного глинистого сырья завод производил керамзитовый гравий марок 400–500 с маркой прочности П50–П125.

Глины Сытыганского месторождения являются высококачественным сырьем для производства бесшихтового керамзита в условиях окислительной среды, что было доказано многолетней стабильной работой керамзитового цеха Бестяхского завода ЖБИ. Оптимальная температура обжига составляет 1160–1180 °С, коэффициент вспучивания колеблется в пределах от 1,06 до 5,22. Насыпная плотность керамзитового гравия составила 440–460 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 3,4–4,0 МПа.

Отличительной характеристикой глины Юлегирского месторождения является хорошая вспучиваемость гранул в интервале температур 1100–1150 °С, что обеспечивает получение керамзитового гравия марок 350–400. На его основе был получен конструктивно-теплоизоляционный легкий бетон марки М25 со средней плотностью 920 кг/м³ и расходом цемента 167 кг/м³ [6].

Следует отметить, что начало освоению керамзита в условиях Якутии было положено в конце 1960-х гг. Керамзит активно с нарастающим объемом использовали в строительстве новых серий крупнопанельного домостроения (464 ВМ, 439, ИИ-04, ИИ-20 и др.). В Бестяхском заводе ЖБИ, затем в ДСК г. Якутска выпускали однослойные керамзитобетонные панели для пятиэтажных жилых зданий

серии I-464 ВМ. Поризованный керамзитобетон плотностью 1400 кг/м³ получали на основе керамзита марки 500 и воздухововлекающей добавки СДБ [7]. Опыт советского каменного строительства городов и поселений в условиях вечной мерзлоты и экстремально холодного климата (Архангельск, Мурманск, Норильск, Игарка, Тикси, Якутск, Певек, Магадан и др.) наглядно показывает и доказывает долговечность, надежность и эффективность зданий и сооружений с применением керамзитобетона. Керамзит и керамзитобетон не потеряли актуальности и по сегодняшний день. Область применения керамзитобетона с каждым годом расширяется, особенно в связи со стратегией развития арктических территорий РФ, например, для строительства нефтяных и газовых скважин, береговых сооружений, мостов, аэродромов, объектов двойного назначения и др. [7].

Выбор места строительства и организации производства керамзита должен проводиться согласно стратегии развития РС(Я) [8, 9] с учетом наличия энергетических и сырьевых ресурсов. Для арктической зоны Якутии, состоящей из 13 районов, следует выделить Булунский район с центром в пос. Тикси с морским портом, а также с возможностью энергетического обеспечения в будущем с помощью плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС). К перспективным месторождениям вблизи пос. Тикси относятся участки № 1 и 3 [6]. Их вскрыша представлена делювием, состоящим из обломков и щебенки аргиллитов и алевролитов с незначительным (10–20% мас.) содержанием песчано-глинистого материала (табл. 2). К недостаткам сырья следует отнести высокую марку дробимости (1200 при сжатии в цилиндре), низкую вспучиваемость щебня от 2 до 3,17 при оптимальной температуре обжига 1180 °С, высокую насыпную плотность гранул от 750 до 1100 кг/м³.

В Вилюйской группе районов целесообразно выбрать г. Вилюйск, снабжаемый сравнительно дешевой электроэнергией от Вилюйской ГЭС и газом от АО «Сахатранснефтегаз». Характерным месторождением является Сыдыбыльское месторождение, разведанное для производства кирпича и керамзита. По данным химического анализа [6] глины нижнего пласта относятся к гидрослюдистым, а верхнего – к гидрослюдистым и монтмориллонитовым (табл. 2). Испытаниями установлено, что плотность получаемого керамзита (в куске) составляет не более 950 кг/м³, оптимальная температура обжига не превышает 1250 °С.

Таблица 2

Химический состав глинистого сырья перспективных месторождений

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	SO ₂	п.п.п.
Участок № 1, % мас. (пос. Тикси)								
63,35	16,95	–	5,66	0,82	1,63	–	0,29	5,68
Участок № 3 (пос. Тикси)								
65,00	5,31	–	–	0,38	1,31	5,45	0,22	4,80
Сыдыбыльское месторождение (г. Вилюйск)								
63,74	13,75	–	4,59	2,15	1,85	–	0,21	6,22
Талуминское месторождение (г. Нерюнгри)								
56,71	16,13	0,89	6,70	1,61	1,23	–	0,15	1,02
Староаэродромное месторождение (г. Мирный)								
66,26	16,23	1,49	5,56	0,77	1,16	–	–	6,71

Наибольший интерес представляет керамзитовое сырье Южной Якутии (Южно-Якутский ТПК). В частности, Талуминское месторождение, площадь которого относится к Алдано-Чульманскому угленосному району, наиболее развито в промышленном отношении. Месторождение представлено аргиллитами и алевролитами, которые обладают наибольшей вспучиваемостью, коэффициент вспучивания изменялся в пределах 2,94–8,75, насыпная плотность пористого материала составила 320–830 кг/м³. Полузаводским испытаниям подвергался керамзитовый гравий размерами 5–10 и 10–20 мм. Температура материала в зоне вспучивания составляла 1100–1120 °С, отходящих газов 600 °С.

К перспективному керамзитовому сырью следует отнести и глины Староаэродромного месторождения, которое в 1960–1980-х гг. эксплуатировалось Мирнинским комбинатом строительных материалов управления «Вилюйгэсстрой». Добыча сырья велась с целью производства керамзитового гравия и кирпича. Предварительные исследования глин на керамзит проводились с добавлением опилок (3 % мас.) в лабораторной печи в восстановительной среде при температуре 1250 °С и выдержке в течение 3 мин. Были получены следующие результаты: керамзитовый гравий с объемной массой от 550 до 570 кг/м³; наружная корка гранул очень тонкая, но отличается большой прочностью; структура гравия мелкопористая.

Как показывают результаты исследования геологических изысканий [6] и собственных научно-исследовательских работ [7, 10], керамзитовое сырье Якутии (табл. 1 и 2) состоит из двух видов глинистых ма-

териалов: 1) тонкодисперсные осадочные породы (легкоплавкие глины), состоящие в основном из глинистых минералов (монтмориллонита, гидрослюды, каолинита и др.), содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатные, карбонатные, железистые) и органические примеси; 2) сырье глинистое камнеподобное, состоящее из обломков и щебенки аргиллитов и алевролитов, что требует наличия энергоемкого технологического оборудования для сушки, дробления и измельчения исходного сырья.

По классификации ГОСТ 32026-2012 ранее использованное сырье для керамзитового производства (табл. 1) относится к глинам и суглинкам, умеренно пластичным, мало- и средневспучивающимся, со средним содержанием Al₂O₃, диоксида кремния и оксидов железа в пересчете на Fe₂O₃, высоким содержанием органических веществ.

В советский период все производства керамзита работали по типовой схеме [5], что остается актуальным и на сегодняшний день. Глинистое сырье доставляется из места добычи в склад для хранения, откуда поступает на переработку, разрыхление, извлечение каменных и органических включений, измельчение и перемешивание с добавками, далее гранулирование, сушка, вспучивание и охлаждение гранул, сортировка и складирование готовой продукции.

Как показали полузаводские испытания глинистого сырья (табл. 1), применение солярового масла в исходных композициях повлияло незначительно на коэффициент вспучивания и прочностные характеристики керамзитового гравия.

Таблица 3

Физико-механические свойства керамзитобетона

Марка по средней плотности	Морозостойкость	Теплопроводность, Вт/(м×°С)	Прочность на сжатие, МПа
D1200	F75	0,36	10,0
D1100	F75	0,32	8,5
D1000	F50	0,27	7,5
D900	F50	0,24	5,5
D800	F50	0,21	4,5
D700	F35	0,18	3,5
D600	F35	0,16	2,5
D500	F25	0,14	2,0

Современные технологии производства керамзита [8, 9] позволяют из глинистого сырья Сытыганского месторождения (табл. 1) получать керамзит низкой плотности 280–300 кг/м³ с достаточной прочностью. Совместное применение комплексных добавок ЗАО «НИИКерамзит» и алюмосиликатных опудривателей может повысить вспучиваемость исходного сырья на 20–40%, снизить температуру обжига на 50 °С с соблюдением требуемого интервала вспучивания.

Таким образом, для современного уровня производства керамзита способы обогащения глинистого сырья остаются традиционными, а улучшение технологических параметров производства и качества конечной продукции в первую очередь связано с использованием новых видов комплексных добавок и опудривателей.

Результаты многолетних исследований производства и применения керамзита и керамзитобетона в условиях Якутии [6, 7, 10] позволяют рекомендовать для возведения несущих стен блоки и панели из керамзитобетона марки D700–D1000, самонесущих стен – керамзитобетона марки D500–D600, перегородочных плит и блоков – керамзитобетона марки D1000–D1200 (табл. 3).

Заключение

Сырьевая база легкоплавких глин Якутии может быть наиболее эффективной для производства высокопористых заполнителей, а также легкого и высокопрочного керамзитобетона на их основе для строительства энергоэффективных зданий любой этажности в условиях многолетней мерзлоты и экстремально холодного климата.

Решающим фактором для выбора места организации производства керамзита является наличие высококачественного сырья и достаточных энергетических ресурсов,

а также потребность в конечной продукции для промышленного и гражданского строительства с учетом стратегии развития Арктической зоны РФ.

Список литературы

1. Могильникова Н.В. Перспективы применения в проектных решениях керамзита и керамзитобетона / Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: сборник статей. Самара, 2019. С. 469–478.
2. Методическое пособие по проектированию керамзитобетонных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Министерство строительства и ЖКХ РФ. М.: АО «НИИКерамзит», 2019. 227 с.
3. Торопков Н.Е. Влияние условий формирования глинистого сырья на получение керамзита и методы утилизации отходов при производстве керамзита // Научный альманах. 2015. № 8 (10). С. 1039–1045.
4. Баранов Е.А., Грехов П.И. Использование модификаторов техногенного происхождения при производстве керамзита // Уральский научный вестник. 2014. Т. 2007. С. 99–102.
5. Монтаев С.А., Жарылгапов С.М., Рыскалиев М.Ж. Керамический искусственный заполнитель (керамический дорожный материал) на основе глинистых пород Западного Казахстана, модифицированных упрочняющей добавкой // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11. С. 205–209.
6. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2. М.: Объединение «Союзгеолфонд», 1988. 421 с.
7. Местников А.Е., Егорова А.Д., Абрамова П.С. Производство строительных материалов из местного минерального сырья для арктических районов северо-востока России // Горный журнал. 2016. № 9. С. 65–68. DOI: 10/17580/gzh.2016.09.13.
8. Горин В.М., Саммасов Р.Ф. Керамзитобетон для освоения Севера и сохранения экологии // Официальный сайт Винзилинского завода керамзитового гравия [Электронный ресурс]. URL: https://vzkg.ru/blog/KERAMZITOBETON_DLYA_OSVOENIYA_SEVERA_I_SOHRANENIYA_EKOLOGII/ (дата обращения: 15.02.2022).
9. Уваров П.П., Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Качественный керамзит и керамзитобетон для стройкомплекса // Наука и техника в Якутии. № 2 (11). 2006. С. 19–23.
10. Местников А.Е. Строительные материалы и изделия из глинистых грунтов для индивидуального строительства в Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1995. 104 с.