

НАДЕЖНОСТЬ ОСНОВАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
В КРИОЛИТОЗОНЕ

УДК 624.148

НОВЫЙ ИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ  
ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ

К.С. Иванов

*Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия, Aterminator@mail.ru*

Исследованиями установлена возможность получения нового теплоизоляционного материала – пеносиликата, плотностью 290–580 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощением 4 % и прочностью при сжатии 1,7–7,8 МПа. Предварительная термообработка смеси диатомита и щелочной добавки при 95 °С ускоряет процесс выщелачивания аморфного SiO<sub>2</sub>. Образующиеся при этом растворимые щелочные силикаты способствуют вспениванию смеси при температуре 775 °С и снижают плотность материала. По структуре и свойствам материал близок к пеностеклу, что позволяет рекомендовать его для создания теплоизоляционных слоев оснований инженерных сооружений.

Негативное криогенное воздействие на основания инженерных сооружений при их возведении и эксплуатации в условиях вечномерзлых и пучинистых грунтов требует особых строительных мероприятий. Термокарст, просадки и неравномерное морозное пучение верхних слоев грунта являются причинами деформаций, в результате которых может произойти разрушение сооружения. Известно, что обеспечение сохранности основания путем его термостабилизации, исключающей криогенное воздействие на сооружение, позволяет использовать любые грунты в качестве оснований с учетом их несущей способности [Цитович, 1973]. Помимо таких мер, как устройство проветриваемого подполья, отвод выделяемого зданием тепла, применение специальных охлаждающих (или, наоборот, обогревающих) устройств и других, для сохранения температурного режима грунтов (термостабилизации) используются теплоизоляционные материалы. Например, устройство дернового покрова снижает глубину промерзания в 1,5 раза по сравнению с оголенным участком грунта [Киселев, 1985]. Поэтому, в принципе, любой теплоизоляционный слой на поверхности грунта будет препятствовать переносу тепла и способствовать термостабилизации основания.

До недавнего времени способность большинства теплоизоляционных материалов накапливать влагу ограничивало их применение для теплозащиты грунтов. Например, опыт устройства отсыпок на заглубленной в грунт керамзитовой подушке показал, что такой слой водонасыщается и те-

ряет изолирующую способность [Киселев, 1985]. Отсюда следует, что наиболее эффективным будет материал, обладающий минимальными теплопроводностью и водопоглощением.

В настоящее время с целью снижения сил морозного пучения и глубины протаивания вечномерзлых грунтов применяют плиты из экструзионного пенополистирола. Имеется положительный опыт применения этого материала в основаниях зданий, автомобильных и железных дорог [Алексеев, Бек-Булатов, 2007]. Однако пенополистирол может терять теплозащитные свойства и разрушаться в связи с естественной деструкцией полимера. Вопрос его долговечности пока остается дискуссионным.

Эффективным утеплителем, лишенным указанных недостатков, является пеностекло. Это застывшая стеклянная пена с замкнутыми порами (пористость материала достигает 97 %), что исключает насыщение материала влагой и ухудшение его теплофизических свойств. При плотности 140 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность пеностекла составляет 0,045 Вт/(м·К), а разрушающая при этом нагрузка достигает 50 т/м<sup>2</sup> (0,5 МПа) [Горайнова, Горайнова, 1982]. Негорючесть, химическая стойкость и долговечность делают этот материал уникальным. Однако из-за сложной и энергоемкой технологии пеностекло является самым дорогим теплоизоляционным материалом, что резко ограничивает его применение.

В этой связи получение изоляционных материалов со свойствами, близкими к пеностеклу, на

основе дешевого минерального сырья – важная научно-практическая задача. Автором в рамках гранта Губернатора Тюменской области 2010 г. “Обжиговый теплоизоляционный материал на основе сырьевых ресурсов Тюменской области” проведены исследования по получению аналога пеностекла – пеносиликата – на основе широко распространенных кремнистых пород и щелочных добавок.

В основе идеи получения пеносиликата лежит процесс выщелачивания аморфного  $\text{SiO}_2$  из кремнистых пород раствором щелочи. Этот хорошо известный метод получения жидкого стекла не нашел широкого применения из-за образования трудноотделимого нерастворимого осадка, который в данном случае является важным компонентом смеси, содержащим значительное количество глинистых примесей. Растворимые щелочные силикаты, образуя легкоплавкие эвтектики, способствуют переходу смеси в пиропластическое состояние при температуре ниже  $700\text{ }^\circ\text{C}$  [Iler, 1979], а выделяющаяся из глинистых минералов нерастворимого осадка кристаллизационная вода вспенивает смесь.

Исследования велись с использованием диатомита Камышловского месторождения Свердловской области с содержанием (мас. %): аморфный  $\text{SiO}_2$  – 42,5,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8,9,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,3. Диатомит смешивался с 40%-м раствором  $\text{NaOH}$  в соотношении 2,3:1,0 с добавлением воды до получения гомогенной массы с последующей выдержкой в закрытых емкостях при температуре 20 и  $95\text{ }^\circ\text{C}$ . Такое соотношение было принято из расчета, что диатомит содержит 40 % аморфного кремнезема, дающего растворимый щелочной силикат с силикатным модулем (молярное соотношение между  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ ), равным 3. Выход  $\text{SiO}_2$  (от массы сухого диатомита) после выщелачивания и силикатный модуль смеси определялись по методике, описанной в работе [Sokolovich, 1963].

После выщелачивания путем прессования при давлении 2 МПа из смеси изготавливались цилиндрические образцы диаметром 3,4 см и высотой 1,6 см. При помощи тарельчатого гранулятора из смеси также изготавливались гранулы диаметром 5–8 мм. Высушенные до постоянной массы при температуре  $100\text{ }^\circ\text{C}$  образцы и гранулы подвергались обжигу в открытых металлических формах по схеме: скорость нагрева  $25\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ , выдержка при  $775\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 20 мин, остывание вместе с печью ( $\sim 1\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ ). При обжиге гранулы вспенивались и спекались между собой, образуя сплошной массив пеносиликата, из которого выпиливались образцы (кубы с ребром 30 мм).

Вспенивание смеси диатомита и щелочи во многом зависит от извлеченного после выщелачивания  $\text{SiO}_2$ . Поэтому на первом этапе работы ис-

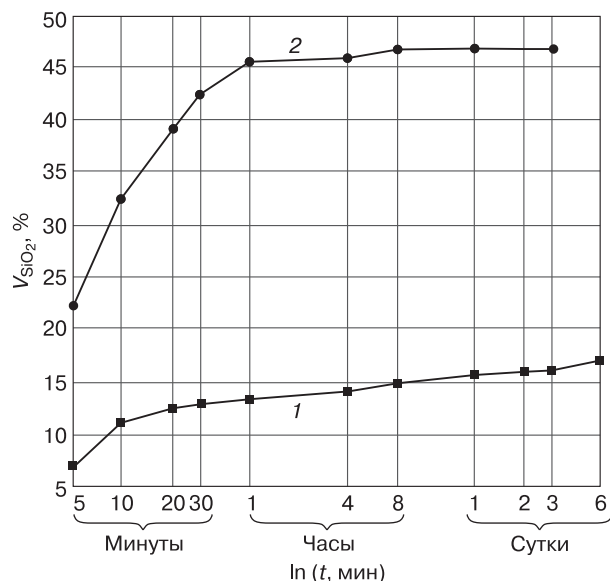


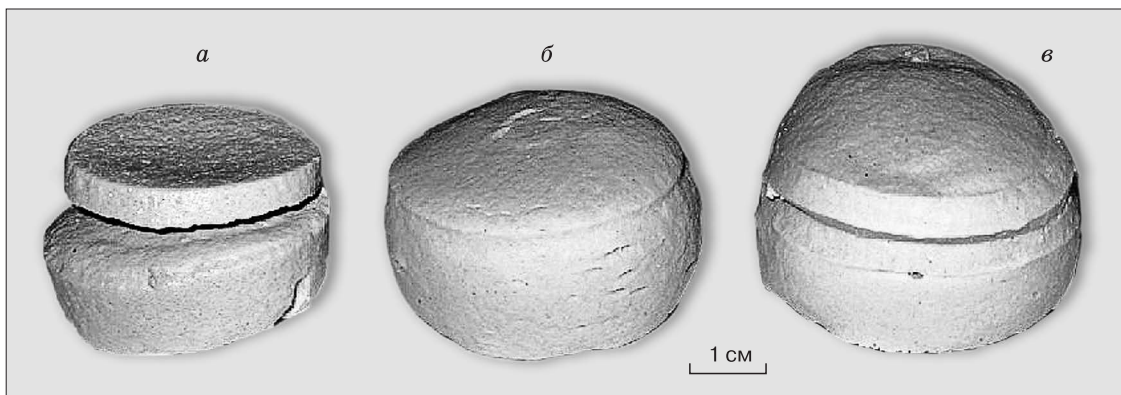
Рис. 1. Кинетика процесса выщелачивания  $\text{SiO}_2$  при различной температуре:

1 –  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $95\text{ }^\circ\text{C}$ .

следовалась кинетика выщелачивания  $\text{SiO}_2$  при разных температурах (рис. 1). Было установлено, что повышение температуры до  $95\text{ }^\circ\text{C}$  значительно ускоряет этот процесс. Уже через 30 минут выдержки при  $95\text{ }^\circ\text{C}$  выход  $\text{SiO}_2$  в 3,3 раза выше, чем за то же время выдержки при  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , составляет 42,5 % против 12,9 % и в дальнейшем практически не увеличивается.

Для определения влияния величины выхода  $\text{SiO}_2$  на вспенивание смеси после ее термообработки с разной продолжительностью были изготовлены цилиндрические образцы, фотографии которых после обжига представлены на рис. 2. Видно, что объем и плотность образцов пеносиликата напрямую зависят от выхода  $\text{SiO}_2$ . По-видимому, увеличение силикатного модуля смеси с ростом выхода  $\text{SiO}_2$  приводит к росту количества жидкой фазы в смеси при обжиге и(или) более раннему ее появлению, что и способствует более полному вспениванию. Таким образом, температуру образования жидкой фазы снижает не щелочь, а растворимый щелочной силикат. Это подтверждается тем, что при обжиге образцы, заформованные сразу после смешивания компонентов, растрескиваются и не вспениваются. Замена щелочи сухим метасиликатом натрия ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) с добавлением эквивалентного количества воды вновь вызывает вспенивание образцов.

Повышение температуры обжига до  $800\text{ }^\circ\text{C}$  приводит к увеличению плотности образцов примерно на 10–15 %. По-видимому, это происходит вследствие дальнейшего снижения вязкости жид-



**Рис. 2. Влияние величины выхода  $\text{SiO}_2$  ( $V_{\text{SiO}_2}$ ) на плотность ( $\rho$ ) образцов из смеси диатомита и щелочи после ее термообработки ( $T$ ) с разной продолжительностью ( $t$ ):**

$a - V_{\text{SiO}_2} = 13,3 \%$ ,  $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$ ,  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t = 60 \text{ мин}$ ;  $b - V_{\text{SiO}_2} = 32,5 \%$ ,  $\rho = 350 \text{ кг/м}^3$ ,  $T = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t = 10 \text{ мин}$ ;  $v - V_{\text{SiO}_2} = 42,5 \%$ ,  $\rho = 280 \text{ кг/м}^3$ ,  $T = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t = 30 \text{ мин}$ .

кой фазы и прекращения выделения кристаллизационной воды, которое происходит вплоть до  $740 \text{ }^\circ\text{C}$  [Lazutkina et al., 2006]. В образцах появляются укрупненные открытые поры диаметром до 1 см, образующиеся при слиянии более мелких пор.

Дальнейшие эксперименты велись с использованием гранул, приготовленных из смеси с разными величинами выхода  $\text{SiO}_2$ . Установлено, что при увеличении выхода  $\text{SiO}_2$  с 13,3 до 42,5 % плотность и прочность образцов изменяются от 580 до 290  $\text{кг/м}^3$  и от 7,8 до 1,7 МПа соответственно. Объемное водопоглощение всех образцов не превышает 2 %. Теплопроводность образцов плотностью 290 и 580  $\text{кг/м}^3$  составляет 0,08 и 0,14  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Образцы имеют однородную структуру, состоящую из замкнутых ячеек, диаметр которых в среднем равен 1,5 мм. Поверхность ячеек хорошо остеклованная, цвет ее изменяется от светло-серого до серо-зеленого.

На основе предлагаемого метода возможно получение пеносиликата, который позволит минимизировать отрицательное криогенное воздействие, играя роль не только теплоизолятора, но и

гидроизолятора, препятствуя миграции влаги в опасные зоны оснований.

### Литература

- Алексеев А.Г., Бек-Булатов А.И. Применение теплоизоляции "ПЕНОПЛЭКС" для снижения сил морозного пучения грунта под запорными стенами // Строит. материалы, 2007, № 6, с. 38–40.
- Горайнов К.Э., Горайнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М., Стройиздат, 1982, 296 с.
- Киселев М.Ф. Предупреждение деформации грунтов от морозного пучения. Л., Стройиздат, 1985, 132 с.
- Цитович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М., Высш. шк., 1973, 448 с.
- Пер R.K. The Chemistry of Silica. N.Y., Wiley, 1979, 866 p.
- Lazutkina O.R., Kazak A.K., Temereva A.A., Nedopolz S.O. Prospects of using diatomite material from the Sverdlovsk Region in enameling production // Glass and Ceramics, 2006, vol. 63, No. 3–4, p. 97–98.
- Sokolovich V.E. Rapid method of determining the modulus of sodium silicate solution // Glass and Ceramics, 1963, vol. 20, No. 9, p. 471–472.

Поступила в редакцию  
24 февраля 2011 г.