

## REFERENCES

1. Hench L. L. Bioceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1998, vol. 81, pp. 1705–1728.
2. Andersson O. H., Karlsson K. H., Guizhi L., et al. In vivo behaviour of glass in the  $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O--CaO--P}_2\text{O}_5\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--B}_2\text{O}_3$  system. *J. Mat. Science: Materials in Medicine*, 1990, vol. 1, pp. 219–227.
3. Karlsson K. Biologicheskaya aktivnost' stekla i ee svyaz' so strukturoy [Biological activity of glass and dependence of structure]. *Fizika i khimiya stekla*, 1998, vol. 24, no. 3, pp. 405–412 (in Russian).
4. Ahnazarova S. L., Kafarov V. V. *Optimizatsiya ehksperimenta v khimii i khimicheskoy tekhnologii: ucheb posobie dlya khimiko-tekhnologicheskikh vuzov* [Optimization of experimental data in chemistry and chemical technology: teaching material]. Moscow: Vysshaya shkola, 1978, 319 p (in Russian).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕКОРАТИВНОГО СЛОЯ СИЛИКАТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-ДЕКОРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

**В. А. Смолий, Е. А. Яценко, А. С. Косарев, Л. В. Климова,  
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М. И. Платова, Ростовская обл., г. Новочеркасск**

**Ключевые слова:** многослойный силикатный композиционный материал, ячеистое стекло, гранулированный пористый наполнитель, декоративный слой, цвет, спектрофотометрические характеристики

**Keywords:** multilayered silicate composite material, cellular glass, the granulated porous filler, decorative layer, color, spektrofotometric characteristics

При разработке многослойного силикатного композиционного теплоизоляционно-декоративного материала, представляющего собой трехслойную стеновую панель с эффективным утеплителем ГОСТ 31310-2005, где в качестве среднего теплоизоляционного слоя используются плиты из ячеистого стекла, а в качестве внутреннего и наружного слоев – легкий бетон по ГОСТ 25820-2000 с гранулированным пористым силикатным наполнителем большое значение имеет внешний декоративный слой. В качестве декоративного слоя наиболее предпочтительно использование декоративных штукатурок и декоративного бетона, поскольку использование декоративных штукатурок является одним из наиболее дешевых и в то же время эстетичных способов декорирования фасадов зданий, а декоративные бетоны, благодаря своим эксплуатационным свойствам и пластичности, дают возможность приобретать стеновым покрытиям самые разнообразные фактуры и цвета.

Все органические материалы, несмотря на некоторые преимущества, обладают повышенной пожароопасностью, причем полимеры при горении выделяют высокотоксичные соединения. Эти недостатки в связи с ужесточением требований к строительным материалам снижают их конкурентоспособность в сравнении с неорганическими материалами. Применение для наружной отделки домов натурального камня, стеклянных панелей, облицовочного кирпича, декоративной плитки, несмотря на все свои преимущества, существенно утяжеляет конструкцию, и увеличивают затраты. В связи с всеобщей тенденцией к экономии сырьевых, трудовых ресурсов рациональнее использовать эти материалы в виде декоративных элементов, орнаментов или вовсе отказаться от их применения.

Самым изысканным и действенным методом архитектурного дизайна является цвет. Цветовые решения для фасадов зданий зависят от функций, которые он выполняет. Также большую роль в выборе цвета играют погодные условия, а именно, температура окружающей среды. И в этом случае нужно знать, что пигменты, тонирующие краску, могут быть органические и неорганические. Органические – это ярко-красные, ярко-желтые, ярко-зеленые, фиолетовые цвета. Их недостаток – быстро выгорают под действием ультрафиолетовых лучей, поэтому использовать такие цвета нужно по минимуму. Темным цветам тоже не стоит отдавать предпочтение, потому что они имеют высокую степень поглощения и излучения. В теплое время года такой фасад днем сильно нагревается, а ночью охлаждается, что приводит к повреждению внешней плоскости из-за больших перепадов температуры. Следовательно, предлагается выбирать цвет с 50% степенью отражения или пользоваться темными оттенками на маленьких участках [1–15].

При подборе цвета для фасада дома также нужно принимать во внимание такие факторы как: погодные условия, назначение здания, климатическую зону, культурные традиции, современную стилистику, моду. Основными современными тенденциями в дизайне экстерьера являются природные цвета и фактуры, а также традиционные архитектурные стили. Учитывая все факторы для легких бетонов на основе пористого наполнителя и белого портландцемента, были выбраны цвета в рамках цветовой схемы «Осенний лес» – темно-красный, желтый, оранжевый; «Океан» – зеленый, оливково-

зеленый, голубой. Цвета, красители и их количество, представленные в табл. 1, подобраны в соответствии с выбранными цветовыми схемами.

Т а б л и ц а 1

**Красители для синтеза экспериментальных образцов декоративного слоя**

Вид красителя	Количество красителя, мас. % сверх 100	Заявляемый цвет окрашивания
Хромовый зеленый антрахиноновый (ГОСТ 10945-74)	0,05	зеленый
	0,10	
	0,15	
Оксид хрома техническая, марка ОХП-1 (ГОСТ 2912-79)	0,50	оливково-зеленый
	1,00	
	1,50	
Пигмент черный железокисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	черный
	1,00	
	1,50	
Пигмент голубой фталоцианиновый (ГОСТ 6220-76)	0,05	голубой (синий)
	0,10	
	0,15	
Лазурь железная (ГОСТ 21121-75)	0,50	синий
	1,00	
	1,50	
Пигмент красный Ж (ГОСТ 7195-75)	0,05	красный
	0,10	
	0,15	
Пигмент красный железокисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	темно-красный
	1,00	
	1,50	
Пигмент желтый железокисный, марка Ж-0 (ГОСТ 18172-80)	0,50	желтый
	1,00	
	1,50	
Пигмент кадмий оранжевый (ГОСТ Р 50771-95)	0,50	оранжевый
	1,00	
	1,50	
Сурик железный, марка К (ГОСТ 8135-74)	0,50	коричневый
	1,00	
	1,50	

При исследовании образцов декоративного слоя многослойного силикатного композиционного теплоизоляционно-декоративного материала определяли целый ряд спектрофотометрических характеристик. Основные из них – это цвет объекта, цветовые характеристики в системах CIE XYZ, CIE Lab и RGB, цветовой охват в системе GamutViewer; оптическая плотность в системе CMYK, совпадения со стандартными цветами в системе PANTONE, интенсивность цвета в виде спектральной кривой.

Кроме того, спектрофотометрия позволяет установить незаметные невооруженным глазом отличия в цветовых характеристиках различных частей образца, что весьма полезно для определения стойкости декоративного слоя к выцветанию. Таким образом, основным критерием отбора при проведении спектрофотометрических испытаний было выбрано расхождение цветовых характеристик лицевой и обратной стороны образца.

В качестве основы для экспериментальных образцов декоративного слоя был выбран белый портландцемент М400 (ГОСТ 965-89). Для формования одного образца необходимо было взять 10 г цемента, затем производили предварительное смешение цемента и пигмента в лабораторной ступке с помощью пестика по ГОСТ 9147-80. Далее к полученной смеси добавляли воду в количестве 1 г (10 мас. %) и продолжали смешение до образования однородной массы. Затем из полученной смеси с помощью формы (рис., а) формовали образцы цилиндрической формы (диаметр 30 мм, высота 5 мм). Сформованные образцы на сутки помещали в эксикатор с водой по ГОСТ 25336-82 так, чтобы образцы не касались воды, где их выдерживали в течение 24 ч с целью дозревания образца. После извлечения из эксикатора образцы (рис., б) выдерживали на солнце в течение 28 сут с целью имитации условий эксплуатации. Затем полученные образцы были подвергнуты исследовательским испытаниям спектрофотометрических характеристик.

На основе полученных данных был произведен расчет разницы цветовых характеристик лицевой и обратной стороны образца в цветовых системах CIE XYZ, CIE Lab, RGB. Результаты расчета приведены в табл. 2.

а)



б)



Подготовка образцов для спектрофотометрических испытаний:  
а – форма для образцов полусухого прессования; б – готовые образцы

Т а б л и ц а 2

**Результаты расчета расхождение цветовых характеристик лицевой и обратной стороны образца**

Вид красителя	Количество красителя, мас. % сверх 100	Расхождение цветовых характеристик, %			
		CIE XYZ	CIE Lab	RGB	Среднее
Хромовый зеленый антрахиноновый (ГОСТ 10945-74)	0,05	1,73	0,85	1,18	1,25
	0,10	0,53	0,77	1,05	0,78
	0,15	0,31	0,32	0,39	0,34
Окись хрома техническая, марка ОХП-1 (ГОСТ 2912-79)	0,50	0,37	0,16	0,26	0,26
	1,00	0,26	0,37	0,00	0,21
	1,50	1,02	0,34	0,78	0,71
Пигмент черный железookисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	0,68	0,47	0,78	0,64
	1,00	0,94	0,49	0,65	0,69
	1,50	0,30	0,22	0,26	0,26
Пигмент голубой фталоцианиновый (ГОСТ 6220-76)	0,05	0,50	0,41	0,39	0,44
	0,10	1,01	0,23	0,78	0,67
	0,15	1,02	0,60	1,18	0,93
Лазурь железная (ГОСТ 21121-75)	0,50	0,40	0,51	0,78	0,56
	1,00	0,56	0,51	0,78	0,62
	1,50	0,92	0,57	0,26	0,58
Пигмент красный Ж (ГОСТ 7195-75)	0,05	16,76	12,41	12,55	13,91
	0,10	21,19	13,36	15,69	16,75
	0,15	15,10	11,00	14,12	13,41
Пигмент красный железookисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	0,24	0,39	0,26	0,30
	1,00	0,70	0,65	0,65	0,67
	1,50	0,57	0,67	0,65	0,63
Пигмент желтый железookисный, марка Ж-0 (ГОСТ 18172-80)	0,50	0,20	0,23	0,00	0,14
	1,00	0,65	1,15	1,18	0,99
	1,50	0,76	1,38	1,44	1,19
Пигмент кадмий оранжевый (ГОСТ Р 50771-95)	0,50	1,62	0,94	1,31	1,29
	1,00	4,81	3,78	3,79	4,13
	1,50	0,64	0,57	0,65	0,62
Сурик железный, марка К (ГОСТ 8135-74)	0,50	3,33	1,17	1,70	2,07
	1,00	4,74	1,55	3,01	3,10
	1,50	3,17	1,18	1,96	2,10

Из табл. 2 видно, что образцы декоративного слоя экспериментальных образцов многослойных теплоизоляционно-декоративных стеклокомпозиционных материалов с применением пигмента красного Ж не выдержали испытания (расхождение 13,41–16,75 %) и признаны непригодными для использования в качестве декоративного слоя. Остальные образцы выдержали испытания

Далее было установлено соответствие цвета декоративного слоя заявленному цвету окрашивания каждого красящего вещества. Результаты приведены в табл. 3.

Соответствие цвета красящих веществ заявленному цвету

Красящее вещество	Количество, мас. %	Заявленный цвет окрашивания	Соответствие заявленному цвету
Хромовый зеленый антрахиноновый (ГОСТ 10945-74)	0,05	зеленый	соответствует
	0,10		
	0,15		
Оксид хрома техническая, марка ОХП-1(ГОСТ 2912-79)	0,50	оливково-зеленый	соответствует
	1,00		
	1,50		
Пигмент черный железистоокисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	черный	не соответствует
	1,00		
	1,50		
Пигмент голубой фталоцианиновый (ГОСТ 6220-76)	0,05	голубой	соответствует
	0,10		
	0,15		
Лазурь железная (ГОСТ 21121-75)	0,50	синий	не соответствует
	1,00		
	1,50		
Пигмент красный железистоокисный (ГОСТ 19487-74)	0,50	темно-красный	соответствует
	1,00		
	1,50		
Пигмент желтый железистоокисный, марка Ж-0 (ГОСТ 18172-80)	0,50	желтый	соответствует
	1,00		
	1,50		
Пигмент кадмий оранжевый (ГОСТ Р 50771-95)	0,50	оранжевый	соответствует
	1,00		
	1,50		
Сурик железный, марка К (ГОСТ 8135-74)	0,50	коричневый	не соответствует

Из табл. 3 видно, что ряд красящих веществ, прошедших испытания, не соответствует заявленному цвету окрашивания. Следовательно, следующие оксиды были признаны непригодными для применения в декоративном слое: пигмент черный железистоокисный, лазурь железная, сурик железный. На основании данных этой же таблицы были установлены и оптимальные количества красящих веществ, необходимые для создания декоративного слоя заданного цвета:

- хромовый зеленый антрахиноновый (ГОСТ 10945-74) – 0,10 мас. %;
- оксид хрома техническая, марка ОХП-1 (ГОСТ 2912-79) – 1,00 мас. %;
- пигмент голубой фталоцианиновый (ГОСТ 6220-76) – 0,15 мас. %;
- пигмент красный железистоокисный (ГОСТ 19487-74) – 1,50 мас. %;
- пигмент желтый железистоокисный, марка Ж-0 (ГОСТ 18172-80) – 1,00 мас. %;
- пигмент кадмий оранжевый (ГОСТ Р 50771-95) – 1,50 мас. %.

*Работа выполнена в ЮРГПУ (НПИ) при финансовой поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» в рамках договора № 31 16-33-60136 от 02.12.2015 г. по научному проекту № 16-33-60136 «Физико-химические закономерности получения силикатного многослойного композиционного теплоизоляционно-декоративного материала» (руководитель – Смолий В. А.).*

## ЛИТЕРАТУРА

- Investigation of the factors influencing the properties and structure of foamed slag glass / E. A. Yatsenko, A. P. Zubekhin, V. M. Gol'tsman [et al.] // Glass and Ceramics. – 2014. – Т. 71, № 3–4. – С. 111–114.
- Разработка составов и исследование свойств блочного и гранулированного пеностекла, изготовленного с использованием шлаковых отходов ТЭС / Е. А. Яценко, В. А. Смолий, Б. М. Гольцман [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 115–119.
- Физико-химические свойства и структура пеношлакостекла на основе отходов ТЭС / Е. А. Яценко, В. А. Смолий, А. С. Косарев [и др.] // Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 3–6.
- Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций / Н. Н. Ефимов, Е. А. Яценко, В. А. Смолий [и др.] // Экология промышленного производства. – 2011. – № 2. – С. 40–44.

5. Исследование возможности производства строительных материалов на основе отходов углеобогащения / Е. А. Яценко, В. А. Смолий, А. С. Косарев [и др.] // Экология промышленного производства. – 2012. – № 1. – С. 80–83.
6. Coatings and enamels: development of a method for improving the performance properties of glass-enamel coatings for steel / A. V. Ryabova, T. A. Es'Kova, N. S. Karandashova [et al.] // Glass and Ceramics. – 2015. – Т. 71, № 9–10. – С. 327–329.
7. Синтез теплоизоляционных материалов на основе шлаковых отходов ТЭС / Е. А. Яценко, В. А. Рытченкова, О. С. Красникова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 59–62.
8. Яценко Е. А., Зубехин А. П., Клименко Е. Б. Электрохимические способы усиления прочности сцепления однослойных стекломалей с подложкой // Стекло и керамика. – 2004. – № 3. – С. 25–28.
9. Ясиевич В. Е. Бетон и железобетон в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1980. – 188 с.
10. Технологические особенности получения ячеистого стекла, применяемого в качестве теплоизоляционного слоя в силикатном многослойном композиционном теплоизоляционно-декоративном материале / А. С. Косарев, В. А. Смолий, Е. А. Яценко [и др.] // Техника и технология силикатов. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 4–9.
11. Влияние золошлаковых материалов на температурно-временные параметры синтеза теплоизоляционного силикатного материала / В. А. Смолий, Е. А. Яценко, Б. М. Гольцман [и др.] // Техника и технология силикатов. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 10–15.
12. Материалы, применяемые для облицовки зданий [Электронный ресурс]. URL: [http://www.stroy.ru/cottage/build-other/publications\\_947.html/](http://www.stroy.ru/cottage/build-other/publications_947.html/) (дата обращения: 28.03.2017).
13. Виды фасадной отделки дома [Электронный ресурс]. URL: <http://axk.com.ru/otdelk-2/> (дата обращения: 28.03.2017).
14. Облицовка фасадов плиткой – материалы и варианты отделки [Электронный ресурс]. URL: <http://mastera-fasada.ru/vidy-materialov/plitkoj/oblicovka-fasadov-plitkoj-219/> (дата обращения: 28.03.2017).
15. Модные тенденции в дизайне фасадов [Электронный ресурс]. URL: <http://a1-dom.ru/publication/tekhnologii-i-materialy/modnye-tendentsii-v-dizayne-fasadov/> (дата обращения: 28.03.2017).

## REFERENCES

1. Yatsenko E. A., Zubekhin A. P., Gol'tsman B. M., et al. Investigation of the factors influencing the properties and structure of foamed slag glass. *Glass and Ceramics*, 2014, vol. 71, no. 3–4. pp. 111–114.
2. Yatsenko E. A., Smoliy V. A., Gol'tsman B. M., et al. Razrabotka sostavov i issledovanie svojstv blochnogo i granulirovannogo penostekla, izgotovlennogo s ispol'zovaniem shlakovykh otkhodov TJeS [Development of structures and a research of properties of the block and granulated foamglass made with use of slag waste of thermal power plant]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2012, no. 5, pp. 115–119 (in Russian).
3. Yatsenko E. A., Smoliy V. A., Kosarev A. S., et al. Fiziko-khimicheskie svojstva i struktura penoshlakostekla na osnove otkhodov TJeS [Physical and chemical properties and structure of a foam slag glass on the basis of waste TPP]. *Steklo i keramika*, 2013, no. 1, pp. 3–6 (in Russian).
4. Efimov N. N., Yatsenko E. A., Smoliy V. A., et al. Jekologicheskie aspekty i problemy utilizacii i reciklinga zoloshlakovykh otkhodov teplovykh jelektrostantsij [Ecological aspects and problems of utilization and recycling zoloshlakovykh of waste of thermal power plants]. *Jekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2011, no. 2, pp. 40–44 (in Russian).
5. Yatsenko E. A., Smoliy V. A., Kosarev A. S., et al. Issledovanie vozmozhnosti proizvodstva stroitel'nykh materialov na osnove otkhodov ugleobogashheniya [Study the possibility of production of construction materials on the basis of coal preparation waste]. *Jekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2012, no. 1, pp. 80–83 (in Russian).
6. Ryabova A. V., Es'Kova T. A., Karandashova N. S., et al. Coatings and enamels: development of a method for improving the performance properties of glass-enamel coatings for steel. *Glass and Ceramics*, 2015, vol. 71, no. 9–10, pp. 327–329.
7. Yatsenko E. A., Rytchenkova V. A., Krasnikova O. S., et al. Sintez teploizolyacionnykh materialov na osnove shlakovykh otkhodov TJeS [Synthesis of heat-insulating materials on the basis of slag waste of thermal power plant]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 2, pp. 59–62 (in Russian).
8. Yatsenko E. A., Zubekhin A. P., Klimenko E. B. Jelektrokhimicheskie sposoby usileniya prochnosti scepneniya odnoslojnykh steklojemalej s podlozhkoj [Electrochemical methods for enhancing the adhesion strength of single-layer stellamara with the substrate]. *Steklo i keramika*, 2004, no. 3, pp. 25–28 (in Russian).
9. Yasievich V. E. *Beton i zhelezobeton v arkhitekture* [Concrete and reinforced concrete in architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1980, 188 p (in Russian).
10. Kosarev A. S., Smoliy V. A., Yatsenko E. A., et al. Tekhnologicheskie osobennosti polucheniya yacheistogo stekla, primenjaemogo v kachestve teploizolyacionnogo sloya v silikatnom mnogoslajnom kompozicionnom teploizolyacionno-dekorativnom materiale [Technological features of receiving the cellular glass applied as a heat-

insulation layer in silicate multilayered composite heat-insulating and decorative material]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*, 2016, vol. 23, no. 4, pp. 4–9 (in Russian).

11. Smolij V. A., Yatsenko E. A., Gol'tsman B. M., et al. Vliyanie zoloshlakovykh materialov na temperaturno-vremennyye parametry sinteza teploizolyacionnogo silikatnogo materiala [Influence of ash-slag mixes on temperature and time parameters of synthesis of heat-insulating silicate material]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2016, vol. 23, no. 4, pp. 10–15 (in Russian).

12. Materialy, primenyaemye dlya oblicobki zdaniy [The materials applied to facing of buildings]. [Electronic resource]. URL: [http://www.stroy.ru/cottage/build-other/publications\\_947.html](http://www.stroy.ru/cottage/build-other/publications_947.html) (accessed 28.3.2017) (in Russian).

13. Vidy fasadnoj otdelki doma. [Types of front finishing of the house]. [Electronic resource]: URL: <http://axk.com.ru/otdelk-2> (accessed 28.3.2017) (in Russian).

14. Oblicovka fasadov plitkoj – materialy b varianty otdelki [Facing of facades a tile – materials and options of finishing]. [Electronic resource]: URL: <http://mastera-fasada.ru/vidy-materialov/plitkoj/oblicovka-fasadov-plitkoj-219> (accessed 28.3.2017) (in Russian).

15. Modnye tendencii v dizajne fasadov [Fashionable tendencies in design of facades]. [Electronic resource]: URL: <http://a1-dom.ru/publication/tekhnologii-i-materialy/modnye-tendentsii-v-dizayne-fasadov> (accessed 28.3.2017) (in Russian).

## МЕТОД ДЕТОКСИКАЦИИ ГРУНТОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ КРЕМНЕЗОЛИРОВАНИЕМ

**Л. Б. Сватовская, А. А. Кабанов, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург**

**Ключевые слова:** детоксикация, укрепление, грунты, ионы, тяжелые металлы, золь, гель  
**Keywords:** detoxification, strengthening, soils, ions, heavy metals, sol, gel

Известно [1], что в грунтах при транспортных магистралях накопилось достаточно большое количество загрязнителей в виде ионов тяжелых металлов, которые должны быть обезврежены процессами детоксикации, которые, в свою очередь могут быть совмещены с процессами укрепления грунтов. Такое требование (детоксикация) диктует современное экологическое состояние окружающей среды, в частности, геосреды. Энергетическая (термодинамическая) разрешенность процессов детоксикации может быть рассмотрена как осуществление самопроизвольности процессов, что, как известно, сопровождается отрицательным изменением величины энергии Гиббса, кДж/моль.

В развитии работ [2, 3 и 4], в статье рассматривается энергетический (термодинамический) аспект детоксикации и возможного укрепления грунта реакциями кремнезолирования, как основы метода. Кремнезоль отличается от всех известных веществ, которые, так или иначе, вводят в грунт (укрепление грунта) тем, что это чистое для литосферы вещество и по признаку соответствия, полностью по химическому составу отвечающее природному –  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Промышленный кремнезоль имеет размеру частиц нано-размера и значение  $\text{pH} > 7$ . В табл. 1 приведен термодинамический анализ реакций кремнезолирования с ионами Pb(II) и Cu(II), которые, во-первых, достаточно часто встречаются в природно-техногенных транспортных системах и, во-вторых, отличаются друг от друга особенностями электронного строения – Cu(II) –  $4s^0 d^9$ -ион 3d - элемента, Pb(II) –  $6s^2 6p^0$  – ион 6 p – элемента.

Таблица 1

Термодинамический анализ реакций кремнезолирования

Номер реакции	Ион	Реакция детоксикации	$\Delta G^0_{298}$ , кДж/моль
1	Cu(II)	$\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}} + \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{T}} + 2\text{OH}^-_{\text{aq}} = \text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{\text{T}}$	-56,7
2	Cu(II)	$2\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}} + \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{T}} + 4\text{OH}^-_{\text{aq}} = \text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{\text{T}} + \text{Cu}(\text{OH})_{2\text{T}}$	-56,7
3	Pb(II)	$3\text{Pb}^{2+}_{\text{aq}} + \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 6\text{OH}^- = \text{Pb}(\text{OH})_{2\downarrow} + 2\text{PbO}_{\text{T}} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$	-353,9
4	Pb(II)	$3\text{Pb}^{2+}_{\text{aq}} + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{OH}^- = \text{Pb}(\text{OH})_{2\downarrow} + 2\text{PbO}_{\text{T}} \cdot \text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$	-355,9

В табл. 2 приведены термодинамические параметры [5, 6], по которым производился расчет реакций кремнезолирования.

Последовательность проведения метода детоксикации грунтов кремнезолированием показана на рисунке.