

7. **О свойствах** кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.

8. **Построение** модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. Т. 34. – 2012. – № 6. – С. 17–29.

9. **Synthesis of Circuits with Low-Cost Concurrent Error Detection Based on Bose-Lin Codes** / D. Das, N. A. Touba // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 1999. – Vol. 15. – Issue 1–2 (August-October). – Pp. 145–155.

10. **Предельные** свойства кода с суммированием / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 3. – С. 290–299.

11. **The Impact of Logic Optimization of Concurrent Error Detection** / Vl. Moshanin, V. Ocheretnij, and A. Dmitriev // Proc. 4th IEEE International

On-Line Testing Workshop, Capri, Italy, 1998. – Pp. 81–84.

12. **Исследование комбинационных** самопроверяемых устройств с независимыми и монотонно независимыми выходами / М. Гёссель, А. А. Морозов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 2. – С. 180–193.

13. **Design of self-testing** checkers for unidirectional error detecting codes / S. J. Piestrak. – Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 pages.

14. **Модифицированный код** с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 1. – С. 169–177.

15. **Properties of code with summation for logical circuit test organization** / A. Blyudov, D. Efanov, V. Sapozhnikov and Vl. Sapozhnikov // Proc. of 10th IEEE East-West Design&Test Symposium (EWDTS`2012), Kharkov, Ukraine, September 14–17, 2012. – Pp. 114–117.

УДК 504.054

Л. Б. Сватовская

Петербургский государственный университет путей сообщения

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЗАЩИТЫ НА ТРАНСПОРТЕ С УЧЕТОМ Понижения СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ГИББСА ПРИ ДЕТОКСИКАЦИИ

Предложены пути обнаружения геоэкозащитных свойств минеральных веществ, которые позволяют им участвовать в детоксикации литосферы в виде минеральных геоантидотов. Прослеживаются параметры, при соблюдении которых возможно проявление детоксикационных свойств от ионов тяжелых металлов при загрязнении литосферы, в том числе и на транспорте.

минеральный геоантидот, вяжущие, детоксикация, термодинамика, гидратационная активность.

Введение

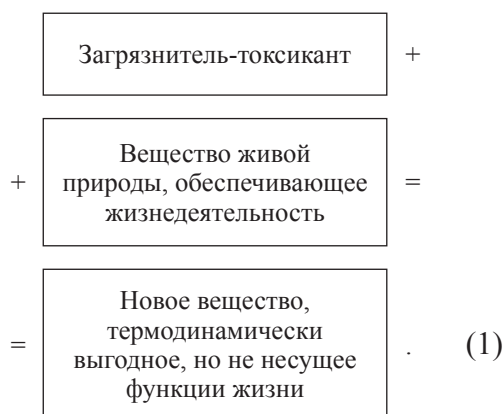
Одной из фундаментальных основ геоэкозащиты на транспорте является геоэкохимия, которая определена нами в [1] как наука о веществах и их превращениях для сбережения литосферы в ее естественном состо-

янии, способствующем сохранению живой природы; ее «введение» в науку состоялось на кафедре «Инженерная химия и естествознание» ПГУПС, где сбережение литосферы от загрязнений, в том числе на транспорте, рассматривается как возможное по крайней мере двумя путями – используя превентив-

ные методы и детоксикацию систем, если уже допущены изменения в составе, ведущие к загрязнению литосферы и грозящие живой природе. В последнем случае имеются в виду процессы детоксикации литосферы, ликвидирующие негативное воздействие на живую природу [2–5], в настоящей работе приведены некоторые возможные пути геоэкозащиты.

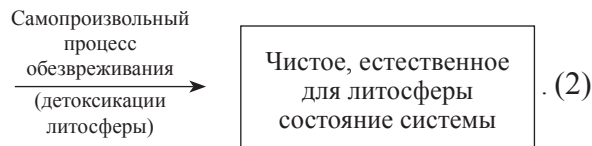
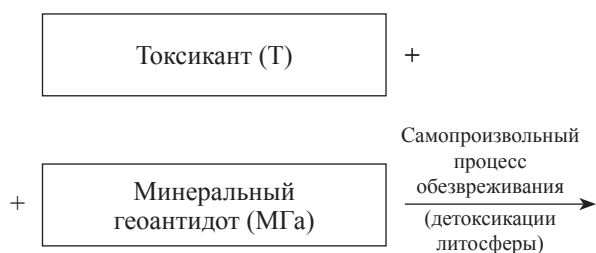
1 Естественно-научные основы геоэкозащиты

В соответствии с законами термодинамики одна из энергетических схем токсикации живой природы показывает осуществление следующего процесса:



Этот процесс энергетически выгоден природе ($\Delta G_{298}^0 < 0$), идет самопроизвольно и заканчивается образованием веществ без функций жизнедеятельности.

Но при реализации схемы 1 можно вместо живого организма предоставить токсиканту (Т) в партнеры твердое минеральное вещество – минеральный геоантидот (МГа), природа которого позволила бы реализовать схему процесса, ΔG_{298}^0 которого меньше нуля:



Можно предложить использовать для детоксикации систему с известным по другому назначению процессом, например, искусственного камнеобразования – твердение вяжущих систем процесса, ΔG_{298}^0 которого меньше нуля:



При реализации схем 2, 3 величина понижения свободной энергии Гиббса процесса отражает полезную работу детоксикации литосферы, в то время как величина $-\Delta H_{298}^0$ процесса отражает изменение энтальпии детоксикации в соответствии с законом превращения энергий.

Но какова природа минеральных геоантидотов (МГа)?

2 Обнаружение веществ и систем с геоэкозащитными свойствами – минеральных геоантидотов

МГа (минеральный геоантидот) может существовать в виде гидратсодержащих (ГС) веществ в твердом состоянии, которые могут быть как в виде природных веществ, так и в виде техногенных (продукты разрушения).

В работах [1–4] показаны свойства минеральных геоантидотов в виде гидратсодер-

жащих силикатов, сульфатов, алюминатов кальция и некоторых гидратов силикатов магния по обезвреживанию ИТМ (ионов тяжелых металлов). При этом термодинамическая и химическая природа этих веществ отличается повышенной сложностью, низким энергосодержанием, низким значением величины стандартной энтальпии $-\Delta H_{298}^0$ и повышенным значением молярных масс, M , г/моль (например, ряды в табл. 1).

Термодинамической и химической основой действия МГа является их способность в реакциях с ИТМ образовывать труднорастворимые вещества в виде, в том числе, гидратсодержащих фаз или гидроксидов, образование которых происходит с понижением энергии Гиббса.

В табл. 2 приведен состав гидроалюминатных дисперсий, которые также могут быть рассмотрены как способные быть МГа [6].

В соответствии с усложненным составом и дополнительным участием гелеобразных $-\text{Al}(\text{OH})_3$ – фаз в продуктах гидратации, новообразования, указанные в графе 4, являются минеральными геоантидотами (обозначение С-СаО; А- Al_2O_3 ; Н- H_2O), даже более активными МГа. Продолжая тему, можно предположить, что лучшее качество для МГа будет иметь более усложненный продукт – гидросульфоалюминат кальция, который получается по реакции:



гидратационно-активный МГа,
продукт 1



гидратсодержащий МГа,
продукт 2

Продукт 2 более «сильный» МГа, так как его энергия (стандартная теплота образования, $-\Delta H_{298}^0$) одна из самых низких (см. табл. 1), молярная масса – высокая, при этом содержание молекул воды и ионов кальция, способных к участию в процессах детоксикации литосферы, максимальное.

Следующий путь обнаружения МГа предполагает использование процессов гидратации гидратационноактивных минералов (ГА) или реакционноактивных (РА) веществ, которые могут быть или искусственно получены (например, клинкерные минералы) или формируются как техногенные отходы (доменный шлак или метакаолин), в таком случае эти вещества – ГА могут быть также названы МГа. Иными словами, известная гидратационная активность минералов свидетельствует о возможности этих веществ участвовать в процессах детоксикации литосферы от ИТМ. Так же как и первый, второй путь реализуется при выполнении определенных условий. Сочетание гидратации и детоксикации энергетически выгодно

ТАБЛИЦА 1. Усложнение составов и изменение характеристик веществ

Вещество	ΔH_{298}^0 , кДж/моль	Молярная масса, М, г/моль	Возможность быть минеральным геоантидотом
С (алмаз)	близкие к нулю	12	–
Si (кремний)	— —	28	–
SiO_2 , α -кварц	–911,5	60	–
$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	–1480	96	+
$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$	–10 685,3	739	+
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	–5505,06	378	+
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31 \cdot 33\text{H}_2\text{O}$	–17 179,8	1237	+
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	–2023,98	172,15	+
$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	–4305,4	240	+

ТАБЛИЦА 2. Состав продуктов гидратации алюминатов кальция по Т. В. Кузнецовой

Минерал	Сроки твердения, сут.	Степень гидратации, %	Состав новообразований	Содержание фазы, мас.%	
				кристаллических гидроалюминатов кальция	гелевой – Al(OH) ₃
C ₃ A	1	64,5	C ₃ AH ₆	72	0
	3	72	CAH	78,3	0
	7	78	C ₃ AH ₆ , C ₃ A·CaCO ₃ ·H ₁₂	83,9	0
	28	86,0	C ₃ AH ₆ , C ₃ A·CaCO ₃ ·H ₁₂	90,2	0
C ₁₂ A ₇	1	61; 7	C ₂ AH ₈ , C ₄ AH ₁₃ , AH ₃	58	14,8
	3	70	C ₂ AH ₈ , C ₄ AH ₁₃ , AH ₃	63; 4	16,1
	7	77	C ₂ AH ₈ , C ₄ AH ₁₃	62,6	20,8
	28	85	C ₃ A·CaCO ₃ ·H ₁₂ , AH ₃	77,2	22,6
CA	1	50	CAH ₁₀	68,1	0
	3	56	CAH ₁₀ , C ₂ AH ₈ , AH ₃	64,5	9,6
	7	68	C ₂ AH ₈ , AH ₃	56,7	23,2
	28	78	C ₂ AH ₈ , C ₃ AH ₆ , AH ₃	53,3	31,3
CA ₂	1	20	CAH ₁₀ , AH ₃	21,4	9,8
	3	30,6	CAH ₁₀ , AH ₃	31,2	14,4
	7	42,5	CAH ₁₀ , C ₂ AH ₈ , AH ₃	32,1	24,2
	28	66	CAH ₁₀ , C ₂ AH ₈ , AH ₃	44	33,2

системе, так как значения ΔH_{298}^0 и ΔG_{298}^0 процессов, включающих продукты детоксикации, более отрицательны по сравнению с процессами гидратации, что позволяет говорить о полезной работе и об энтальпии детоксикации (табл. 3) на примере щелочных систем образования сложных гидратов и гидроксидов тяжелых металлов. Приведенные в таблице значения свидетельствуют о геоэкозащитных свойствах систем.

Третий путь – использование для детоксикации, например от ИТМ на транспорте, процессов, происходящих при искусственном камнеобразовании – твердении вяжущих минеральных систем (эти процессы взяты в качестве одного из примеров). Подтверждением этому служит следующее: во-первых, по реакциям, обеспечивающим самопроизвольное твердение, возможно по-

лучение труднорастворимых веществ в виде гидросульфалюминатов, -силикатов, -алюминатов, -фосфатов, гидроксидов и/или их комплексов, содержащих ионы тяжелых металлов и, во-вторых, эти новообразования остаются «заточенными» в камень, который может быть использован по полезному и безопасному для окружающей среды назначению (табл. 4).

Заключение

1. Прослежены пути и условия осуществления самопроизвольных процессов детоксикации литосферы от загрязнений ИТМ, в том числе и на транспорте.

2. Показаны возможные перспективы использования неорганических вяжущих

ТАБЛИЦА 3. Примерная энергетическая оценка процессов детоксикации с использованием щелочных вяжущих систем (реакционно-активных систем, РС)

Химические процессы	ΔH_{298}^0 реакции, кДж	ΔH_{298}^0 детоксика- ции, кДж	ΔG_{298}^0 реакции, кДж	ΔG_{298}^0 детоксика- ции, кДж
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2(\text{т}) + \text{NaOH}(\text{т}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = \text{NaAlSi}_2\text{O}_6(\text{т}) + \frac{1}{2}(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})(\text{т})$	-274,6	–	-275,45	–
$2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)(\text{т}) + 4\text{NaOH}(\text{т}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + \text{Cd}_{\text{aq}}^{2+} = 2(\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O})(\text{т}) + \text{Cd}(\text{OH})_2(\text{т}) + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{т}) + 2\text{Na}_{\text{aq}}^+$	-419,51	-144,9	-709,5	-434,05
$2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)(\text{т}) + 4\text{NaOH}(\text{т}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + \text{Pb}_{\text{aq}}^{2+} = 2(\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O})(\text{т}) + \text{Pb}(\text{OH})_2(\text{т}) + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{т}) + 2\text{Na}_{\text{aq}}^+$	-682,68	-408,05	-732,48	-457,03

ТАБЛИЦА 4. Проявление геоэкохимической активности вяжущими системами (ГЭХ) в процессе формирования и в продуктах разрушения

Природа модифицированного вяжущего и основного продукта твердения	Детоксикация от загрязнителей на транспорте		
	неорганических	органических	
	ИТМ (и/или в процессе твердения и в продуктах разрушения)	Нефтепродукты в процессе твердения	Другие органические
1. Гипсовые $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	+	–	–
2. Портландцементы, $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	+	+	–
3. Алюминатные $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot z\text{H}_2\text{O}$	+	Δ	Δ
4. Фосфатные $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot z\text{H}_2\text{O}$	+	+	Δ
5. Специальные (например, сульфоалюминатные)	Δ	Δ	Δ
6. Шлакощелочные $x\text{Na}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Δ	+	Δ
7. Магнезиальные $x\text{MgO} \cdot y\text{MgCl}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$	Δ	Δ	Δ
$x\text{MgO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Δ	Δ	Δ

Примечания:

+ кафедрой «Инженерная химия и естествознание» ПГУПС подтверждена геоэкохимическая активность (2000–2010 гг.);

– геоэкохимическая активность не обнаружена;

Δ предполагается геоэкохимическая активность.

систем разной природы, которые могут применяться для детоксикации литосферы от загрязнений ИТМ.

Библиографический список

1. **Введение** в геоэкохимию детоксикации литосферы на базе особенностей процессов твердения вяжущих и искусственного камнеобразования : монография / Л. Б. Сватовская, М. В. Шершнева, А. М. Сычева [и др.]. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 80 с.

2. **Использование** гидратсодержащих твердых отходов с геозащитным резервом на транспорте / Л. Б. Сватовская, М. В. Шершнева, В. Ю. Шангин // Естественные и технические науки. – 2008. – № 4. – С. 254–257.

3. **Геозащитные свойства** гидратсодержащих твердых фаз / Л. Б. Сватовская, М. В. Шершнева, Ю. Е. Пузанова. – СПб. : Геоэкохимия, 2010. – С. 661–663.

4. **Информационное значение** инженерно-химических параметров для эксплуатационных и геоэкозащитных свойств композиций в строительстве / Л. Б. Сватовская, А. В. Хитров, М. М. Байдарашвили, В. Д. Мартынова // Естественные и технические науки. – 2011. – № 4. – С. 375–376.

5. **Защита** природотехногенных комплексов с учетом использования в строительной деятельности ресурсосберегающих технологий / Л. Б. Сватовская, В. Д. Мартынова, М. М. Байдарашвили // Естественные и технические науки. – 2011. – № 4. – С. 512–514.

6. **Инженерно-химические основы** прогнозирования геозащитных свойств твердых тел и новых технологий обезвреживания / Л. Б. Сватовская, М. В. Шершнева, А. М. Сычева [и др.]. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 80 с.

7. **Физическая химия** вяжущих материалов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимашев. – М. : Высшая школа, 1989. – 380 с.

УДК 699.865

А. М. Сычева, А. Е. Князев, М. Хаммади, Т. И. Бойкова

Петербургский государственный университет путей сообщения

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ЦЕЛЯХ ГЕОЭКОЗАЩИТЫ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрено влияние твердых частиц веществ, содержащих наноструктурные элементы, на качество и теплозащитные свойства пенобетонных изделий разной плотности при использовании резательной автоклавной технологии получения пенобетонов. Показано, что использование техногенных продуктов производства пенобетона в качестве добавок способствует повышению качества изделий и их теплозащитных свойств.

качество, пенобетонные изделия, теплопроводность, отходы производства.

Введение

Проблема энергосбережения в транспортном строительстве, а также при эксплуатации зданий и сооружений на сегодня очевидна. Как можно управлять теплозащитными свой-

ствами изделий, или, точнее, как при равной плотности материала понизить коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·°С? Пенобетоны могут быть выбраны для геоэкозащиты как материалы, имеющие низкие ресурсозатраты (и высокий процент воздуха) – примерно