

*Л.Б. Сватовская, А.А. Кабанов, Д.С. Старчуков*  
(Петербургский государственный университет путей сообщения  
им. императора Александра I; e-mail: lbsvatovskaya@yandex.ru)

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕТОКСИКАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЙ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ**

*Анализируются технологии укрепления грунта путём цементирования или золирования, которые являются и детоксикационными. Делается прогноз о возможной эффективности использования вяжущих, образующих фазы сложного состава.*

*Ключевые слова: укрепление, грунт, прогноз, детоксикация.*

## **L.B. Svatovskaya, A.A. Kabanov, D.S. Starchukov** **PREDICTION OF THE DETOXICATIVE PROPERTIES OF STRENGTHENING TECHNOLOGIES ON MINERAL BINDER BASE IN THE CONSTRUCTOR**

*The technologies of soil strengthening by means of cementing or soling was analyzed. Such kind of technologies are detoxicated ones at the same time. The prediction about the possible effectiveness of the use of binders that make up the phases of complex composition was given.*

*Key words: strengthening, soil, prediction, detoxication.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 14 октября 2015 г.

Основная идея развития [1-10] заключается в возможности определения детоксикационных свойств технологий укрепления грунтов методом цементирования. В основу детоксикации, в соответствии с [1], положены процессы твердения вяжущих, которые способны одновременно с синтезом прочности проявлять геоэкозащитную функцию в виде детоксикационной. В табл. 1 прослежены схемы 1-8, при которых образуются гидратные фазы как основа твердения вяжущего и прочности грунта, а также гидросиликаты и гидроксиды катионов тяжелых металлов, которые имеют низкую растворимость (низкое произведение растворимости), с чем связано детоксикационное воздействие (такие фазы выделены в схемах (1)-(8), табл. 1).

Следует отметить, что рассматриваемые в табл. 1 схемы затрагивают фазы, которые ранее были названы как *гидратационно-активные (ГА)* [1], представляющие вместе с *гидратсодержащими (ГС)* фазами, минеральные геоантродоты. Собственно процессы твердения, приводящие к синтезу прочности, что важно для укрепления грунтов, ранее не учитывались. В настоящей статье составлен прогноз обезвреживаниз с учётом разных типов цемента и разных по природе *ионов тяжёлых металлов (ИТМ)*.

**Возможные геоэкохимические схемы детоксикации литосферы  
при твердении вяжущих в технологиях укрепления грунтов**

Название вяжущей системы по положению катиона в таблице Д.И. Менделеева	Минеральный геоантидот (МГа), в вяжущей системе	Возможные геоэкохимические схемы детоксикации литосферы от $K_T$ (катион токсиканта) с помощью процесса твердения вяжущих при укреплении грунтов	pH
4s-вяжущие – цементные минералы, кальциевые цементы, гипс; твердеют в реакциях с водой, в отдельных случаях – со щелочью	$C_3S$ $C_2S$	$(1) \quad x'C_3S + nH_2O + K_{Taq} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} x''K_T O \cdot y'SiO_2 \cdot n'H_2O + \\ + K_T(OH)_2 + \\ + xCaO \cdot ySiO_2 \cdot mH_2O \end{array}$ $(2) \quad x'C_2S + nH_2O + K_{Taq}$ $(3) \quad C_2S + Na_2SiO_3 (K_2SiO_3) + nH_2O + x'K_T \rightarrow K_T(OH)_2 + xK_T O \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O + xCaO \cdot ySiO_2 \cdot n'H_2O$	> 7
	$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	$(4) \quad 2CaSO_4 \cdot 0,5H_2O + K_{Taq} + 1,5H_2O \rightarrow K_T SO_4 \downarrow + CaSO_4 \cdot 2H_2O + Ca^{2+}$	≈ 7
3s-вяжущие твердеющие в реакции с водой	Обезвоженный минерал $xMgO \cdot ySiO_2$ серпентинитовой группы	$(5) \quad xMgO \cdot ySiO_2 + nH_2O + K_{Taq} \rightarrow K_T O \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O + x'MgO \cdot y'SiO_2 \cdot n'H_2O$	> 7
3p-вяжущие, твердеющие в реакциях со щелочью или кислотой	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ метакаолин	$(6) \quad Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2SiO_3 (K_2SiO_3) + nH_2O + (K_T OH)_{aq}^+ \rightarrow K_T(OH)_2 \downarrow + xNa_2O(K_2O) \cdot yAl_2O_3 \cdot zSiO_2 \cdot mH_2O + aSiO_2 \cdot bH_2O$	> 7
	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ каолинит	$(7) \quad Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 3K_{T(II)aq} + H_3PO_4 \rightarrow (K_T)_3(PO_4)_2 \cdot nH_2O + SiO_2 \cdot mH_2O + Al_2O_3 \cdot xP_2O_5 \cdot n'H_2O$	< 7
3p – вяжущее, золь-гель переход	$SiO_2 \cdot nH_2O$ , золь	$(8) \quad K_T + SiO_2 \cdot nH_2O + 2OH^- \rightarrow K_T O \cdot SiO_2 \cdot nH_2O + H_2O$	> 7

**Примечание**

Коэффициенты в схемах имеют условное значение, их точное значение для конкретных реакций следует из анализа, например, реакций, приведенных в табл. 2;

$K_{Taq}$  – обозначение для растворов высокой степени разбавления

**Прогнозирование детоксикационных свойств некоторых вяжущих при укреплении грунтов с учётом влияния на процесс твердение**

Вяжущие		Примерный интервал статической ёмкости, мг/г, по ИТМ					
		Cu(II)	Pb(II)	Cd(II)	Mn(II)	Ni(II)	Fe(III)
Силикаты кальция, цемент М400	Детоксикация	1-3,5					
	Твердение	-	-	-	+	+	+
Алюминат кальциевый цемент	Детоксикация	прогнозируется					
	Твердение	+	+	+	+	+	+
Расширяющиеся цемент	Детоксикация	прогнозируется					
	Твердение	+	+	+	+	+	+
Напрягающий цемент	Детоксикация	прогнозируется					
	Твердение	+	+	+	+	+	+

*Примечание*

+ детоксикация способствует твердению;

- детоксикация препятствует твердению и может понижать прочность

При прогнозировании полагается, что отрицательное влияние катионов разной природы на процессы твердения [1] может быть нивелировано составом используемого вяжущего, имея ввиду при этом, что гидросульфалюминатные фазы, присутствующие в достаточном количестве в расширяющемся и напрягающем цементах, а также гидроалюминатные фазы отличаются по механизму взаимодействия с молекулами и ионами. Именно эта разница в механизмах может быть использована в процессах укрепления грунта с одновременным обезвреживанием ионов тяжёлых металлов.

### Выводы

1. Прослежены детоксикационные схемы при твердении вяжущих, используемых в технологиях укрепления грунтов.

2. Прогнозируется, что детоксикационная функция по ионам некоторых тяжёлых металлов может не препятствовать процессам твердения вяжущих определенной природы, содержащих алюминатные и сульфалюминатные фазы.

## Литература

1. **Сватовская Л.Б., Шершнев М.В., Сычева А.М. и др.** Введение в геоэкохимию детоксикации литосферы на вяжущих и искусственного камнеобразования: монография. СПб.: ПГУПС, 2012. 80 с.
2. **Сватовская Л.Б., Хитров А.В., Кабанов А.А., Юров О.В.** Некоторые геоэкозащитные резервы веществ, материалов и изделий строительной деятельности // Естественные и технические науки. 2014. № 2. С. 153-159.
3. **Сватовская Л.Б.** Геоэкологические свойства и методы геоэкозащиты в транспортном строительстве // Транспортное строительство. 2014. Вып. 10. С. 28-30.
4. **Сватовская Л.Б.** Идеи современной геоэкохимии для защиты литосферы // Естественные и технические науки. № 6 (84). 2015. С. 212-214.
5. **Кабанов А.А.** Геоэкозащитная технология укреплений грунтов с использованием золирования // Технологии техносферной безопасности. Вып. 3 (61). 2015. С. 324-327. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
6. **Сватовская Л.Б.** Обезвреживание некоторых загрязнений с использованием минеральных геоантидотов // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (59). 2015. С. 192-195. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. **Сватовская Л.Б., Кабанов А.А.** Некоторые геоэкозащитные свойства процессов искусственного камнеобразования // Естественные и технические науки. 2014. № 4. С. 95-99.
8. **Сватовская Л.Б., Кабанов А.А.** Инновационный метод с использованием нанорасстворов в строительстве и геоэкологии // Естественные и технические науки. 2014. № 4. С. 168-170.
9. **Сватовская Л.Б., Кабанов А.А., Старчуков Д.С., Юров О.В.** Технология золирования в транспортном строительстве // Транспортное строительство. 2015. Вып. 2. С. 6-7.
10. **Сватовская Л.Б.** "Геоэкохимические процессы детоксикации литосферы на транспорте с использованием гидросиликатных систем // Транспортное строительство. 2015. Вып. 7. С. 26-28.