

Н.А. Бабак, О.А. Капустина

(Петербургский государственный университет путей сообщения
им. императора Александра I"; e-mail: babak.ru@inbox.ru)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ БИОСФЕРЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТЕРМООБРАБОТАННОГО ПЕНОБЕТОНА

Разработан способ очистки водных объектов и почв от ионов тяжелых металлов за счет применения в строительстве термообработанного пенобетона. Приведены результаты экспериментальных исследований в области иммобилизации ионов тяжелых металлов, а также расчёты необходимого количества поглотителя при применении его в реальных условиях

Ключевые слова: реагенты для иммобилизации тяжелых металлов, очистка водных объектов и почв, оценка риска.

N.A. Babak, O.A. Kapustina

GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF PURIFICATION OF THE BIOSPHERE FROM IONS OF HEAVY METALS THROUGH THE USE IN THE CONSTRUCTION OF THERMOPROCESSED FOAM

The method of purification of water bodies and soils from heavy metals through the use in the construction of thermoprocessed foam was developed. The results of experimental research in the field of immobilization the heavy metal ions the above-mentioned absorbent, as well as the calculation of the necessary quantity of thermoprocessed foam when applied it in the real conditions.

Key words: reagents for immobilization of heavy metals, purification of water bodies and soils, the risk assessment.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 февраля 2015 г.

Строительная деятельность приводит к образованию большого количества отходов и сточных вод.

Проблема очистки сточных вод заключается не только в удалении **загрязняющих веществ (ЗВ)**, приносимых в результате самой строительной деятельности, но и в устранении уже имеющихся фоновых концентраций, превышающих нормативные значения.

На основании проведенного мониторинга предприятия в Красногвардейском районе Санкт-Петербурга, в ливневых сточных водах концентрация железа общего в контрольном колодце колеблется в диапазоне от 1,7 мг/л до 68 мг/л (при нормативе 0,3 мг/л), что превышает ПДК в 5,7-226,7 раз; концентрация марганца колеблется от 0,12 мг/л до 5,2 мг/л (при нормативе 0,1 мг/л), что превышает ПДК в 1,2-52 раза.

В связи с этим одной из наиболее важных проблем сегодня является очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов, в том числе от железа и марганца, которые попадают в сточные воды за счет вымывания из почв.

Так на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области распространены нижнекембрийские синие глины, в которых обычно присутствуют гидрослюды, глауконит, хлорит и гидрохлорит, монтмориллонит, пирит и др. [1, 2]. Химический состав минералов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав минералов подстилающих пород

Минерал	Химический состав
Гидрослюды	$K_x(Al, Mg, Fe)_2 - 3 \cdot [Si_{4-x}Al_xO_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$, где x 0,5, n 1,5
Глауконит	$(K, Na, CaO)(Fe^{3+}, Mg, Fe^{2+}, Al)_2 [(Al, Si)Si_3O_{10}](OH)_2 \cdot H_2O$
Хлорит	$(Mg, Fe^{2+})_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2 \cdot 3(Mg, Fe^{2+})(OH)_2$
Монтмориллонит	$m \{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p \{Al, Fe^{3+}\}_2 [Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$
Пирит	FeS_2

Таким образом, воздействие кислотных осадков, характерных для нашего региона, способствует вымыванию свободных форм ионов тяжелых металлов из подстилающих пород и приводит к повышенному содержанию ЗВ в сточной воде.

Поэтому важен поиск новых методов и технологий очистки воды от тяжелых металлов. Кроме того необходимо оценить риск негативного воздействия таких сточных вод на окружающую среду, для чего следует разработать методологию оценки риска.

На сегодняшний день оценка риска производится исключительно с учётом воздействия негативных факторов на здоровье человека, то есть все существующие методологии оценки риска рассматриваются в рамках оценки здоровья человека и практически не учитывают антропогенное влияние на окружающую среду, и, как следствие, не дают комплексной картины техногенного воздействия на природу.

Под риском, в общем смысле этого слова, понимается рассчитываемая или интуитивно оцениваемая вероятность того или иного неблагоприятного результата тех или иных действий отдельной личности, группы лиц, организации, государства и т.д. Иными словами, риск – это "ожидаемая частота нежелательных эффектов, возникающая от заданного воздействия загрязнителя". Количественно риск выражается величинами от нуля (отражающего уверенность в том, что вред не будет нанесен) до единицы (отражающей уверенность в том, что вред будет нанесен).

В настоящее время существует два типа риска:

1) риск загрязнения, рассматриваемый как вероятность загрязнения окружающей среды в результате плановой или аварийной деятельности промышленных предприятий (экологический риск);

2) риск для здоровья, который характеризует собой вероятность развития у населения неблагоприятных для здоровья эффектов в результате реального или потенциального загрязнения окружающей среды [3].

И если, благодаря системе социально-гигиенического мониторинга, можно оценить риск (потенциальную опасность) для здоровья отдельной личности, группы лиц, части населения или населения в целом, возникающем или ожидаемом в связи с неблагоприятным воздействием на него отдельных факторов окружающей среды [4], то методологии оценки риска техногенного воздействия строительной и иной деятельности на окружающую среду до сих пор отсутствуют.

Нами предложена базовая схема оценки риска негативного воздействия на окружающую среду, которая описывает основные этапы, необходимые для научной оценки негативного влияния воздействующего фактора на экосистему или компоненты экосистемы. Данную схему, представленную на рис. 1, можно использовать для оценки риска техногенного воздействия любого вида деятельности (в том числе строительной деятельности) на окружающую среду.

На первом этапе формулирования проблемы и постановки задачи, опираясь на функции оценки экологического риска, к которым относят:

- 1) документирование факта, является ли риск для конкретной зоны реальным или потенциальным;
- 2) идентификацию присутствующих загрязняющих веществ на участке, подвергающемся экологическому риску;
- 3) получение данных, которые могли бы быть использованы для оценки показателей или характеристик снижения нагрузки на окружающую среду [5].

Нами был выбран объект оценки риска – предприятие в Красногвардейском районе Санкт-Петербурга, и произведен сбор информации о данном объекте, как источнике загрязнения окружающей среды. На территории объекта был произведен отбор проб воды (из ливневых очистных сооружений) и почвы (с территории участка). Было зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций ЗВ и, таким образом, подтверждено, что риск является реальным. Также были идентифицированы основные загрязняющие вещества (в воде – железо и марганец; в почве – медь, свинец, цинк).

Таким образом, были поставлены следующие задачи: оценить негативное воздействие выбранного объекта на окружающую среду; разработать и предложить мероприятия и способы снижения данного воздействия; оценить эффективность предложенных экозащитных технологий.

Был произведен по ГОСТ Р 51592-2000 контрольный отбор проб сточной воды из ливневой канализации с территории промышленной площадки выбранного предприятия. С помощью атомно-абсорбционной спектроскопии по методике ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 была определена исходная концентрация железа и марганца в сточной воде.

На втором этапе был произведен анализ полученных данных и определена оценка воздействия объекта на окружающую среду по следующим параметрам: концентрация ионов ЗВ в сточной воде и в почве; сорбционная ёмкость поглотителей. В качестве поглощающего материала был разработан и предложен бой термообработанного пенобетона. В качестве объекта сравнения был выбран схожий по составу промышленно используемый фильтрующе-сорбирующий материал – алюмосиликатный сорбент "Глинт".



Рис. 1. Схема оценки риска негативного воздействия на окружающую среду

На третьем этапе были получены конкретные результаты эффективности очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов при применении выбранных поглотителей.

Исследования проводились в статических условиях в течение двух часов. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты извлечения железа и марганца из сточной воды различными поглощающими материалами

Определяемый компонент	Средний результат параллельных определений исходной воды, мг/дм ³	Средний результат параллельных определений воды после очистки термообработанным пенобетоном, мг/дм ³	Средний результат параллельных определений воды после очистки сорбентом "Глинт", мг/дм ³	Нормативы (ПДК), не более
Железо общее	7,26629	0,02434	0,15904	0,3
Марганец	0,70931	0,00038	0,03650	0,1

В табл. 3 приведена эффективность очистки сточных вод различными поглощающими материалами, а также их статическая ёмкость.

Таблица 3

Эффективность очистки сточной воды от тяжелых металлов и статическая ёмкость поглощающих материалов

Определяемый компонент	Эффективность очистки СВ термообработанным пенобетоном, %	Эффективность очистки СВ сорбентом "Глинт", %	Статическая ёмкость термообработанного пенобетона, мг/г	Статическая ёмкость сорбента "Глинт", мг/г
Железо общее	99,66	97,81	1,810	1,776
Марганец	99,94	94,85	0,177	0,168

На рис. 2 представлена остаточная концентрация ионов железа и марганца после поглощения их из сточных вод термообработанным пенобетоном и сорбентом "Глинт".

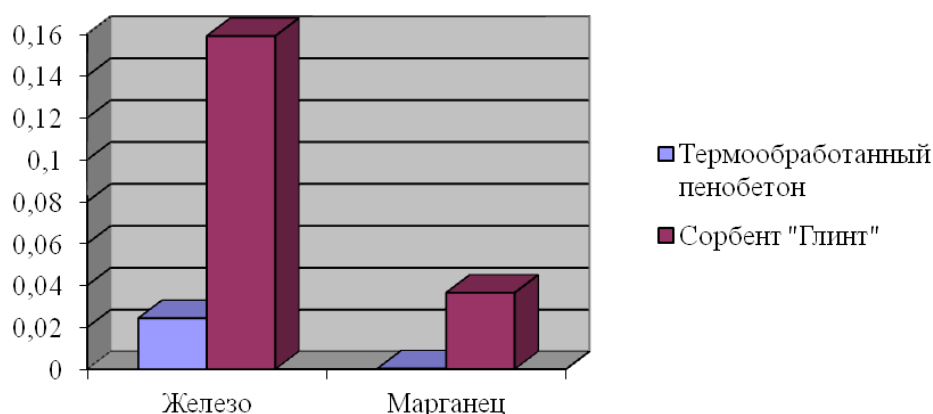


Рис. 2. Остаточная концентрация ионов тяжелых металлов в сточной воде после поглощения их выбранными материалами, мг/л

Анализ результатов показал, что поглощение из сточных вод железа и марганца боем термообработанного пенобетона гораздо эффективнее по сравнению с промышленно применяемым алюмосиликатным сорбентом "Глинт".

Это значит, что чем выше будет эффективность очистки сточных вод, тем ниже будет риск негативного воздействия на окружающую среду.

Величина риска, R , определяется:

$$R = I \cdot W_i, \quad (1)$$

где I – величина ущерба;

W_i – вероятность определенного события, вызывающего этот ущерб [6].

В нашем случае за величину ущерба может быть принята суммарная концентрация загрязняющих веществ, мг/дм³, попадающих в окружающую среду до или после очистки.

Для удобства при расчёте риска в (1) введён коэффициент 0,1 с тем, чтобы величина риска варьировалась в пределах от 0 до 1.

Расчёт величины риска без очистки, $R_{\text{бo}}$, при 100 % вероятности события при подстановке в (1) данных из табл. 2, а именно суммарной концентрации железа общего и марганца, содержащихся в исходной воде, составит:

$$R_{\text{бo}} = (7,26629 + 0,70931) \cdot 0,1 = R_{\text{бo}} = 0,79756.$$

При той же вероятности события, величина риска с очисткой сорбентом "Глинт", $R_{\text{coгл}}$, при подстановке в (1) данных из табл. 2, а именно суммарной концентрации железа общего и марганца, содержащихся в воде после очистки сорбентом "Глинт", составит:

$$R_{\text{coгл}} = (0,15904 + 0,03650) \cdot 0,1 = R_{\text{coгл}} = 0,019554.$$

Для сравнения, величина риска с очисткой термообработанным пенобетоном, $R_{\text{coпп}}$, при подстановке в (1) данных из табл. 2, а именно суммарной концентрации железа общего и марганца, содержащихся в воде после очистки термообработанным пенобетоном, составит:

$$R_{\text{coпп}} = (0,02434 + 0,00038) \cdot 0,1 = R_{\text{coпп}} = 0,002472.$$

На основании вышеприведенных расчётов можно сделать вывод, что при максимальной вероятности наступления негативного события, величина риска негативного воздействия на окружающую среду при использовании поглощающих материалов существенно снижается. Однако применение термообработанного пенобетона в 10 раз эффективнее, чем применение сорбента "Глинт".

Результаты расчёта представлены на рис. 3.

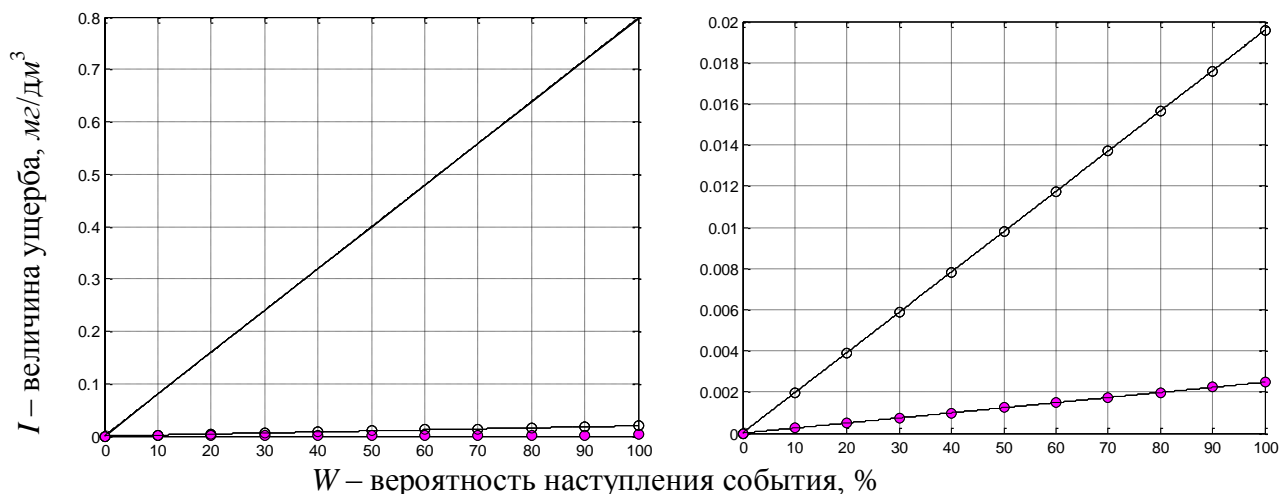


Рис. 3. Вероятность возникновения рисков ситуации:

- — без очистки;
- — с очисткой при применении сорбента "Глинт";
- — с очисткой при применении термообработанного пенобетона

Из графиков на рис. 3 видно, что чем выше концентрация загрязняющих веществ в воде или в почве, тем выше риск негативного воздействия на окружающую среду.

Заключительные этапы схемы являются наиболее важными с точки зрения принятия грамотных экологических решений. Они необходимы для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду, так как нужно не только оценить риск негативного воздействия, но и постараться предотвратить или минимизировать его.

Для этого на этапе **разработки мероприятий для решения поставленной задачи**, а именно для внедрения разработанного термообработанного пенобетона в реальный процесс очистки сточных вод и почв, нами был поднят вопрос о необходимом и достаточном количестве поглотителя. С данной целью были проведены эксперименты, имитирующие залповые сбросы и была установлена максимальная статическая ёмкость термообработанного пенобетона.

Результаты испытаний показали, что в первые 30 минут концентрация ионов марганца снизилась с 4,75 г/л до 3,82 г/л; средняя статическая ёмкость термообработанного пенобетона по марганцу составила 240 мг/г. Концентрация ионов железа снизилась с 5,60 г/л до 0,67 г/л; средняя статическая ёмкость по железу составила 1240 мг/г.

Согласно "Методики расчёта объёмов организованного и неорганизованного дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации" [7] среднегодовое количество выпавших атмосферных осадков имеет обеспеченность около 40 %. Под обеспеченностью понимается вероятность появления величины стока равной или большей заданного значения. Таким образом среднегодовой объём осадков в г. Санкт-Петербург составит 672 мм в год на 1 м².

Площадь территории выбранного нами исследуемого участка составляет 2,47 га или 24 700 м².

Тогда объём поверхностного стока на опытном участке:

$$V_{\text{ст}} = q \cdot S, \quad (2)$$

где $V_{\text{ст}}$ – объём поверхностного стока на опытном участке, м³;

q – удельный объём осадков, м в год на 1 м² (0,672 м для Санкт-Петербурга);

S – площадь поверхности опытного участка, м²;

$$V_{\text{ст}} = 0,672 \cdot 24700 = V_{\text{ст}} = 16598,4 \text{ м}^3 \text{ в год.}$$

Расчёт необходимого количества термообработанного пенобетона был произведен на реальный максимальный залповый сброс сточной воды. При условии, что максимальная концентрация ионов марганца в сточной воде равна 5,2 мг/л, ориентировочная масса ионов марганца, m , мг, содержащаяся в годовом стоке, составит:

$$m = 16\,598 \cdot 5,2 \cdot 1000 = m = 86309600 \text{ мг/год.}$$

Учитывая, что средняя ёмкость поглотителя по марганцу составляет 240 мг/г, получаем, что 359,6 кг материала (примерная масса термообработанного пенобетона) способны поглотить 86309,6 г растворенного марганца в год.

Срок "работы" термообработанного пенобетона:

$$T = \frac{M}{m}, \quad (3)$$

где T – срок "работы" термообработанного пенобетона, лет;

M – масса ионов марганца, г, которую может поглотить 359,6 кг термообработанного пенобетона (86309,6 г);

m – среднее количество ионов марганца, г, отводимых с поверхности опытного участка в год (11774,5 г/год – рассчитывалось исходя из средней концентрации ионов марганца в сточной воде, равной 0,709 мг/л).

$$T = \frac{86309,6}{11774,5} = 7,333.$$

Таким образом, в идеальных условиях, 360 кг термообработанного пенобетона могли бы сохранять свои сорбционные свойства более семи лет. Однако, загрузить такой объём поглотителя в очистные сооружения одноразово технологически невозможно и нецелесообразно. С нашей точки зрения, оптимальным вариантом является количество поглотителя, рассчитанное на 1 месяц. Получаем ежемесячную массу ионов марганца, M_{1M} , г:

$$M_{1M} = \frac{86309,6}{12} = 7192,47.$$

При средней ёмкости поглотителя по марганцу 240 мг/г, получаем, что 30 кг термообработанного пенобетона способны поглотить 7192,5 г растворенного марганца в месяц.

Исходя из среднего количества ионов марганца, отводимых с поверхности опытного участка в год, равного 11774,5 г/год, ежемесячно в сточной воде будет содержаться 981,21 г ионов марганца, которые при средней ёмкости поглотителя по марганцу 240 мг/г поглотятся термообработанным пенобетоном в количестве 4,088 кг.

Таким образом, 30 кг поглотителя будут работать более 7 месяцев, если в сточной воде будут отсутствовать залповые концентрации.

Расчёт необходимого количества поглотителя по ионам железа произведен аналогично расчёту по марганцу.

Необходимая масса термообработанного пенобетона по железу для залпового сброса при оптимальном варианте загрузки на 1 месяц составит 25,6 кг/мес.

Оптимальное количество поглотителя должно подбираться по наибольшей залповой концентрации ионов загрязняющего вещества. В нашем случае – по залповой концентрации ионов марганца.

Следует учитывать, что в период эксплуатации термообработанного пенобетона будет происходить его загрязнение взвешенными веществами и иными загрязняющими веществами, например пленочными нефтепродуктами, что, вероятно, снизит срок его эксплуатации. В то же время, при условии, что количество поглотителя рассчитано на залповые (редко встречающиеся) концентрации загрязняющих веществ в сточной воде, при средних концентрациях поглотитель будет "работать" более четырех месяцев. Уменьшение количества термообработанного пенобетона, приведет к уменьшению срока его геозащитной службы. Реальный срок эксплуатации может быть установлен только по результатам ежемесячного мониторинга (на протяжении не менее 1 года) за концентрацией ионов тяжелых металлов в сточной воде конкретного предприятия. Следует также учитывать, что срок замены отработанного пенобетона будет определять концентрация загрязняющих веществ в контрольном колодце, а именно при приближении к ПДК поглотитель будет требовать замены.

Исходя из исследований, посвященных геоэкозащитным свойствам бетона, а именно его способности сорбировать ионы тяжелых металлов (железо, медь, кадмий) из почв [8], а также принимая во внимание тот факт, что термообработанный пенобетон удаляет тяжелые металлы из сточных вод гораздо эффективнее по сравнению с обычным бетоном, можно предполагать, что и в случае удаления ионов тяжелых металлов из почв термообработанный пенобетон будет проявлять лучшие поглощающие свойства, по сравнению с обычным бетоном.

Таким образом, термообработанный пенобетон может считаться универсальным реагентом для иммобилизации тяжелых металлов из биосферы и применяться не только для очистки сточных вод, но и для очистки почв.

Кроме того, преимуществами термообработанного пенобетона является не только его высокая сорбционная способность, дешевизна, но и пригодность к дальнейшей утилизации в качестве отощителя в строительной керамике [9, 10], что обеспечивает безотходность производственного процесса.

Исходя из вышеперечисленных технико-экономических и экологических факторов, можно сделать вывод, что при применении термообработанного пенобетона риск негативного воздействия на окружающую среду будет снижен до минимально возможного, и, следовательно, будет приемлемым.

Литература

1. **Зонн С.В.** Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 208 с.
2. **Инженерно-геологическая** и геоэкологическая оценка нижнекембрийских синих глин Санкт-Петербургского региона, Санкт-Петербург, 1997. http://metodi4ka.com/wp-content/uploads/2011/05/geografija_1.pdf.
3. **Киселев А.В.** Использование методологии оценки риска здоровью в практике природопользования и управлении здоровьем населения. <http://www.integral.ru/risk.html>.
4. **Монисов А.А.** Об основных положениях методологии оценки риска. <http://www.erh.ru/dok/metod01.php>.
5. **Оценка** рисков // Портал для экспертов по техническому регулированию. Росстандарт, 2010. http://expert.gost.ru/MAP.php?ID=RA/HTML/RA_EC_01.html#L4.
6. **Иваненко Н.В.** Экологическая токсикология: учеб. пособие. Владивосток: изд-во ВГУЭС, 2006. 90 с.
7. **Распоряжение** от 1 июня 2000 г. № 11 "Об утверждении Правил пользования системами коммунальной канализации Санкт-Петербурга и его территориальных единиц" // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. <http://docs.cntd.ru/document/8340338>.
8. **Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Сычева А.М., Макарова Е.И.** Инженерно-химические и естественно-научные основы охраны окружающей среды: учеб. пособие. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. 24 с.
9. **Бабак Н.А., Капустина О.А.** Геоэкозащитный подход к использованию промышленных минеральных отходов // Матер. III междунар. науч.-практ. конф. "Техносферная и экологическая безопасность на транспорте" (ТЭБТРАНС-2012). СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2012. С. 38-41.
10. **Сватовская Л.Б., Масленникова Л.Л., Бабак Н.А., Капустина О.А.** Керамическая масса // Пат. № 2416585 Рос. Федерация. / № 2009143284/03; Заявл. 23.11.2009; опубл. 20.04.2011; Бюл. №11.