

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛИТИФИЦИРОВАННЫХ ПО ИНТЕГРАЦИОННОЙ МИНЕРАЛЬНО-МАТРИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗЦОВ УКРЕПЛЕННОГО ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА

**В.А. Пастухова, И.И. Подлипский, С.Ю. Жабриков**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, 7/9. E-mail: pastoukhova@mail.ru

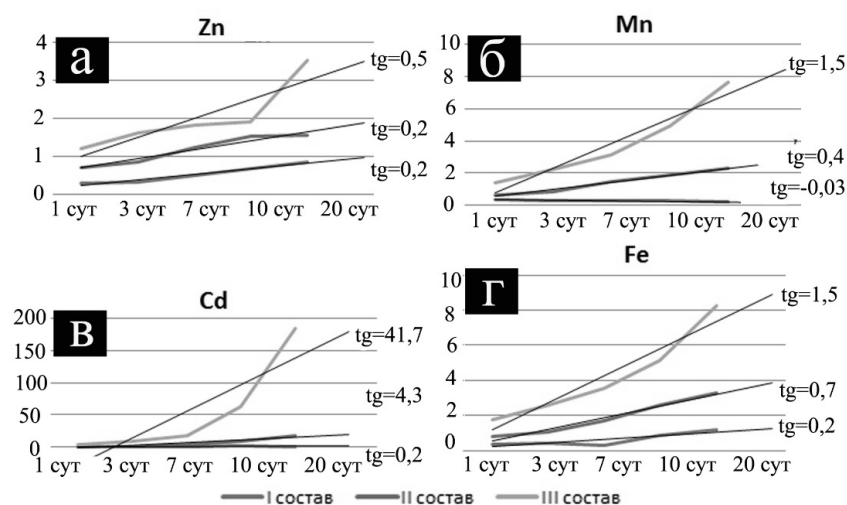
В решении проблемы образования отходов бурения, которые имеют огромные объемы, наиболее рациональным методом является их утилизация в производстве продукции. В процессе работы буровой в шламовом амбаре накапливаются не только непосредственно отходы бурения, но и хозяйственные стоки вахтового поселка. В результате, происходит смешение отходов, имеющих в своей основе различную структуру (буровые отходы (БО) – силикатная матрица, осадки сточных вод (ОСВ) – органическая), ввиду чего возникает проблема эффективности их совместной переработки. Решением этой проблемы является интегральная минерально-матричная технология (ИММ-технология) [1, 2]. Постановка модельного эксперимента по оценке эффективности применения ИММ-технологии заключалась в совместной переработке буровых отходов и осадков сточных вод, при этом, для выявления наилучшего соотношения компонентов смеси было сформировано три состава:

- I состав: 80% БО + 5% ОСВ;
- II состав: 70% БО + 15% ОСВ;
- III состав: 55% БО + 30% ОСВ.

Для определения наиболее стабильного состава образцы исследовались на наличие или отсутствие подвижных форм путем приготовления водных «вытяжек». Для обоснования границ применения технологии состав водных вытяжек образцов сравнивался с ПДК [3].

Регрессионный анализ – один из статистических методов моделирования на основе определенных данных и исследования их свойств. Он чаще всего используется для прогноза, анализа временных рядов, тестирования гипотез и выявления скрытых взаимосвязей в данных. Данный тип анализа оказался необходимым в описании тенденций выхода поллютантов в раствор в ходе модельного эксперимента, целью которого было дать характеристику поведения продукта переработки в окружающей среде.

В регрессионном анализе использовались средние значения содержания элементов по каждому составу, нормированные на ПДК, то есть, коэффициенты концентраций. Выводы о характере миграции элементов в раствор делались на основании графиков линейных трендов (рис. 1). Линия тренда отражает общее направление процесса, а уравнение, которое ее описывает, имеет вид:  $y = ax + b$ , где  $a$  – tg угла наклона линии тренда к оси  $OX$ , величина которого характеризует динамику увеличения концентрации.



**Рис. 1. Динамика изменения коэффициентов концентраций в зависимости от состава образца и времени экспозиции**

На основе полученных результатов было выделено 4 группы элементов, имеющих сходную динамику к увеличению концентрации с 1 по 20 суток:

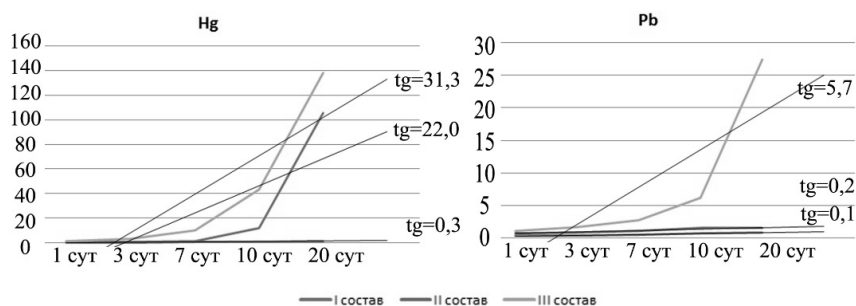
1. Cu, Zn;
2. Mn, Co;
3. Fe, Al, нефтепродукты;
4. Cd, Hg, Ni, Pb.

*Первую группу* элементов составляют медь и цинк, которые имеют практически идентичные линии трендов в пределах каждого из составов (рис. 1а). В образцах I состава на 20 сутки не зафиксировано превышение ПДК, но тенденция к повышению концентрации Cu и Zn, судя по линии тренда ( $tg=0,16$  (Cu);  $tg=0,15$  (Zn)), возможна при более длительном времени экспозиции. Однако, теоретически, после достижения определенной концентрации ионов Cu и Zn в растворе их содержание должно уменьшаться. Это объясняется тем, что в раствор переходят только те элементы, которые находятся на поверхности образца и взаимодействуют с водой, при этом система является открытой и происходит частичный вынос элементов (учет эффекта разбавления). Согласно гипотезе работы, основной объем поллютантов полностью иммобилизован, то есть прочно встроены в структуру образца и не переходят в раствор. Концентрация Cu и Zn в вытяжках образцов II состава постепенно растет до 10-х суток, после чего тенденция к увеличению падает ( $tg=0,25$  (Cu);  $tg=0,24$  (Zn)). Такая же динамика в период с 1 по 10 сутки характеризует образцы III состава, однако с 10 по 20 сутки отмечается резкое увеличение концентраций и превышение ПДК в 3,5 раза ( $tg=0,47$  (Cu);  $tg=0,50$  (Zn)). Интенсивность динамики видна на графике (рис. 1а), где наибольший угол наклона линии тренда отмечается к графику, описывающему III состав.

*Элементы второй группы*, которая была выделена в ходе регрессионного анализа, – это Mn и Co (рис. 1б). Их сходство обусловлено химическими особенностями – кобальт является типичным манганофилом. В вытяжках образцов I состава наблюдается небольшая тенденция к снижению концентрации данных ионов ( $tg=-0,03$  (Mn);  $tg=-0,03$  (Co)). Увеличение содержания Mn и Co в пробах по II составу носит линейный равномерный характер, а динамика перехода их в раствор немного интенсивнее, чем у элементов, которые были выделены в первую группу. К 20-м суткам концентрация Mn и Co в 2 раза превышает ПДК ( $tg=0,43$  (Mn);  $tg=0,42$  (Co)). По III составу отмечается интенсивная динамика перехода данных металлов в раствор и уже на 1-е сутки их концентрация превышает ПДК в 1,5 раз, а на 20-е сутки – почти в 8 раз ( $tg=1,52$  (Mn, Co)).

*В третью группу* было отнесены Fe, Al и нефтепродукты. Причины формирования данной ассоциации носят, вероятнее всего, физико-химический характер – эти вещества образуют коллоидные формы, следовательно, сходство динамики их перехода в раствор объясняется одними и теми же факторами. В целом, данная группа отличается более интенсивной динамикой изменения содержания в водной вытяжке (рис. 1г). Наиболее стабильным является, как и в предыдущих случаях, I состав, который характеризуется наименьшими углами наклона линии тренда ( $tg=0,20$  (Fe);  $tg=0,18$  (Al);  $tg=0,27$  (НП)). Менее устойчив II состав: к 20-м суткам содержание веществ, отнесенных к данной группе, превышает ПДК почти в 4 раза. Самый нестабильный III состав: уже на 3 сутки наблюдается превышение ПДК по Fe, Al и нефтепродуктам в 2 раза, а на 20-е концентрации их составляет более 8 ПДК.

*Четвертая группа* объединяет типичные элементы-органофилы – это Cd, Ni, Hg и Pb (рис. 1в). Вероятно, эта группа тяжелых металлов образует хелатные формы. Как известно, хелаты хорошо растворимы в воде, поэтому они могут участвовать в дополнительной капсуляции тяжелых металлов только в случае их локализации внутри структуры. Вытяжки I состава по Cd, Ni, и Pb вплоть до 20-х суток не превышают ПДК, по Hg на 20-е сутки концентрация составляет 1,5 ПДК. Как и в предыдущих случаях, линии тренда описывают общие тенденции к увеличению концентрации поллютантов на ближайшие сутки, однако динамика их для образцов I состава невелика ( $tg=0,23$  (Cd);  $tg=0,19$  (Ni);  $tg=0,34$  (Hg);  $tg=0,14$  (Pb)). Образцы II состава характеризуются интенсивной динамикой выхода в раствор Cd и Hg ( $tg=4,26$  (Cd);  $tg=22,01$  (Hg)) и относительной эффективностью капсуляции Ni и Pb ( $tg=0,50$  (Ni);  $tg=0,23$  (Pb)). В то время, как Cd и Hg уже на 7 сутки превышают ПДК в 4,5 и 1,5 раза соответственно, содержание Ni на 20-е сутки превышено относительно ПДК в 2,5 раза, а Pb в 1,5 раза. Линия тренда к графику содержания свинца характеризуется небольшим углом наклона, что, говорит о незначительном увеличении его концентрации со временем, следовательно, можно сделать вывод, что капсулирование данного поллютанта возможно и в пределах II состава (рис. 2).



**Рис. 2. Динамика изменения коэффициентов концентраций в зависимости от состава образца и времени экспозиции по элементам-органофилам**

Противоположная ситуация наблюдается по ртути. Ярво выраженные органофильные свойства способствуют активному хелатообразованию, и при дальнейшем растворении в водных вытяжках образцов II и III составов наблюдается превышение ПДК примерно в 1,5 раза уже на первые сутки, и к 20-м достигает 105 ПДК по II составу и 137 ПДК по III составу. Общие тенденции к повышению концентрации ртути по II и III составам обусловлено низкими прочностными свойствами образцов и активным растворением хелатов по трещинам и сколам образца, находящегося в водной среде.

На основе регрессионного анализа по данным водных вытяжек были сделаны выводы о динамике изменения содержания поллютантов в растворе в зависимости от состава образцов. Наименьшей динамикой выхода определяемых элементов в раствор отличаются образцы I состава, характеризующиеся наименьшим процентным содержанием ОСВ (5%). Образцы II состава представляют собой менее стабильную структуру, а результаты по образцам III состава демонстрируют практически полное отсутствие стабильности.

В результате переработки при правильно выбранной рецептуре мы получаем стабильную структуру, а материал, изготовленный с применением отходов, носит название грунт укрепленный техногенный (ГУТ). Это негорючий, безопасный, твердеющий геокомпозит с прогнозируемыми физико-механическими свойствами. ГУТ применяют при устройстве оснований и нижних слоев покрытий автомобильных дорог, промышленных площадок и аэродромов, а также при обустройстве геохимических барьеров (например, при рекультивации шламохранилищ, свалок и оборудовании полигонов для хранения отходов) [1].

#### Литература

1. Кнатько М.В., Кнатько В.М., Подлипский И.И., Камышев В.Ю. Утилизация нефтяных и нефтехимических отходов в производстве продукции путем оптимального сочетания различных видов отходов // Нефть. Газ. Новации. 2013. № 10. С. 75-80.

2. Пастухова В.А., Подлипский И.И. Технология совместной переработки различных типов опасных отходов // Тезисы докладов VI Межвузовской конференции по итогам практик. М., 2014. С. 222-223.

3. Пастухова В.А., Подлипский И.И., Кнатько М.В. Методика проведения эколого-геологической оценки совместной переработки отходов бурения и осадков сточных вод по интегральной минерально-матричной технологии // Школа экологической геологии и рационального недропользования: материалы XV межвузовской молодежной научной конференции. СПб., 2015. С. 217.

## **ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ПОЛИГОНА БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»)**

**И.И. Подлипский**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, 7-9. E-mail: primass@inbox.ru

В РФ накопилось 80 млрд. т. твердых бытовых отходов (ТБО), а также ежегодно прибавляется около 30 млн. т. бытового и 120 млн. т. промышленного мусора. Общая площадь занятых отбросами земель в целом по стране превышает 2 тыс. км<sup>2</sup> [2].

Бытовой мусор на полигоне представляют собой сложную, практически однородную, многофазную гетерогенную систему (техногенный свалочный грунт), состоящую из твердой (пластик, металлы, бытовые приборы и их части и т.д.), жидкой (продукты гидролиза, атмосферные осадки, отжимная жидкость – «фильтрат») и газовой (продукты биохимического и химического разложения органоминеральной массы) компонент, а также биотической (живой) составляющей.

С целью установления негативного воздействия свалочного тела полигона ТБО на состояние природных комплексов Национального парка «Смоленское Поозерье» было проведено натурное обследование территории, основной целью которого была эколого-геологическая оценка состояния территорий, прилегающих к зоне складирования отходов, по вторичным геохимическим ореолам рассеивания тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Ni и др.) [3].

Для рациональной реализации описанного подхода полигон ТБО был рассмотрен автором как эколого-геологическая система [2] – «зона складирования (свалочное тело) – окружающая среда (прилегающие территории)», представляющая собой совокупность абиотических элементов литогенной сферы и биоты, включая человека, находящихся в функциональных отношениях и связях между собой, и образующих определенную целостность и единство [4]. В таких системах, центральную часть представляет собой природно-техногенное геологическое тело, сложенное техногенным биогеохи-