

5. Практические рекомендации на основе проведенного теоретического исследования:

- ускорение процесса сорбционного извлечения достигается путём интенсивного перемешивания в реакторе-смесителе в зоне смешения. Для этого должны быть подобраны мешалки, обеспечивающие максимальную турбулизацию потока;
- крупные агрегаты гидрозоля (1мкм и более) имеют очень медленную кинетику сорбции, поэтому высота реактора-смесителя должна выбираться такой, чтобы размер хлопьев не превышал ~ 1мм;
- интенсивное перемешивание крупных агрегатов не имеет смысла, т.к. происходит их измельчение и десорбция;
- в реакторе целесообразно иметь две зоны – с максимальной турбулизацией и – умеренной турбулизацией;
- ввод растворов веществ, концентрацию которых необходимо снизить за счёт сорбции, должен производиться в первую зону;
- допустимая степень турбулизации во второй зоне тем больше, чем ниже концентрация сорбента и чем выше прочность агрегатов.

6. Внедрение. На основании изложенного был разработан и внедрен на базовом предприятии Брестском электромеханическом заводе принципиально новый реактор-нейтрализатор, выполненный в соответствии с А.С. 1098194 [6]. В отличие от повсеместно применяемых реакторов, [8] этот реактор имеет две зоны. В зоне «А» с помощью быстрой мешалки создаётся режим идеального смешения. В этой зоне в основном завершается реакция нейтрализации, а также процессы гидролиза и сорбции органических и минеральных загрязнений на начинающих формироваться мелких хлопьях гидрокомплексов. Зона «А» отделяется от зоны «В» вращающимся диском, свободно посаженным на валу. В зоне «В» создаётся режим вытеснения, причём интенсивность перемешивания может регулироваться с помощью лопаток, которые могут перемещаться относительно вращающегося диска вверх-вниз, от вала к валу. Вращение диска осуществляется за счёт изменения «парусности» лопаток. Опытным путём подбирается такой режим смешения в зоне «В», который обеспечивает формирование крупных, хорошо оседающих в осветлителях хлопьев. Указанные в разделе 4 рекоменда-

ции были использованы при создании РТ не только на базовом предприятии, но и в последствие реализованы на десятках крупнейших предприятий СНГ таких как «Кировский завод» (г. Санкт-Петербург), Московский Авиационный и Лианозовский заводы (г. Москва).

В 1997 г. эффективность и экономичность РТ подтвердила компания Hoffland Environmethal. Inc, «Американские экологические технологии и оборудование» (США). Среди заказчиков компании такие известные фирмы как «Моторола», «Шелл», «Форд», «Шеврон» и др.

В последнее время дочернее предприятие указанной компании ИП АЕТЕ (г. Минск) внедрило на ряде железнодорожных транспортных предприятий (г.г. Лида и Барановичи) очистные сооружения по предложенной Урецким рациональной технологии очистки стоков от тяжёлых металлов. Проекты этих сооружений прошли экспертизу Минприроды РБ, а их эффективность подтверждена многолетней эксплуатацией. Все основные узлы этой технологии защищены авторскими свидетельствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. Л.: Химия.1970, 336 с.
2. Тёмкин М.И. Перенос растворённого вещества между турбулентно движущейся жидкостью и взвешенными в ней частицами. Кинетика и катализ.1977 г., т.18, № 2, с. 493-496.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов (под редакцией Тамма И.Е. и др.) М.:Наука.1966 г., т.3, 632 стр.
4. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. Под редакцией Жаворонкова Н.М. и др. Л.: Химия. 1969 г., т.1, с.400-410.
5. Венецианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. М.: Наука. 1983, 240 стр.
6. Урецкий и др. А.С. N 1098194 «Устройство для реагентной обработки промышленных сточных вод».
7. Тимофеев Д.П. Кинетика адсорбции. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 252 с.
8. Справочник. Гибкие автоматизированные гальванические линии (под редакцией В.Л. Зубченко). М.: Машиностроение, 1989 г.

УДК 628

**Марицль В., Лихачева А., Жарская Т., Брылка Е.,
МагREL Л., Венцковска Е.**

**МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИЛОВОЙ ПЛОЩАДКИ В
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ**

Миграция тяжелых металлов (ТМ) в подземные воды происходит за счет таких процессов как диффузия, конвективный массоперенос, инфильтрация и пр. [1]. Основную роль в распространении загрязняющих веществ в подземных водах имеет инфильтрация вследствие большого количества воды, подаваемой на иловые площадки (ИП) и попадающей на них с атмосферными осадками.

Интенсивность миграции ТМ зависит от многих факторов, основными из которых являются: влагоотдающие свойства избыточного активного ила (ИАИ), формы связывания ТМ в ИАИ, рН инфильтрационных вод, их количество и др.

При характеристике ИАИ, как источника загрязнения ТМ

подземных вод, исходили из предположения, что эмиссия ТМ зависит, главным образом, от формы связывания их органическим и неорганическим веществом активного ила и может характеризоваться содержанием их подвижных форм.

При выделении форм связывания учитывали особенности процессов, ответственных за иммобилизацию ТМ активным илом, какие функциональные группы органического вещества в этом участвуют, каким образом можно влиять или управлять этим процессом при подготовке активного ила к размещению на ИП.

На основании известных данных, касающихся изучения форм связывания ТМ в почве, биомассе микроорганизмов,

*Владимир Марицль, Анна Лихачева, Тамара Жарская. Белорусский государственный технологический университет, г Минск.
Ежи Брылка, Лех МагREL. Белостокский политехнический институт, Польша.
Ева Венцковска. Высшее сельскохозяйственное училище в Варшаве, Польша.*

можно выделить пять типов связывания (иммобилизации) ТМ ИАИ: физико-химическое или обменное; механическое; физическое (физическая адсорбция); химическое (хемосорбция); биологическое. Наиболее важными при этом являются физико-химические, химические и биологические процессы [2].

Основные процессы, которые способствуют иммобилизации тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах, микроорганизмами, и могут быть приняты во внимание при прогнозировании выделения ТМ в окружающую среду [3]:

- внеклеточное осаждение;
- связывание клеточной поверхностью;
- внутриклеточное накопление.

Кроме упомянутых процессов, определенный вклад в расщепление ТМ, иммобилизованных активным илом, вносит перевод в летучие соединения (в результате реакций с продуктами метаболизма, например образование диметилртути), внеклеточное комплексообразование и др. Очевидно, что не всегда можно однозначно определить, какой механизм иммобилизации играет главную роль, т.к. реальный процесс представляет собой сложное сочетание всех упомянутых процессов.

Внеклеточное осаждение обусловлено, главным образом, взаимодействием ТМ с продуктами метаболизма биоценоза активного ила. Известно, что многие продукты метаболизма способны активно реагировать с металлами. Продукты гумификации – фульвокислоты, гуминовые кислоты, полисахариды – имеют в своем составе множество функциональных групп: карбоксильных, карбонильных, фенольных гидроксильных, во взаимодействии с которыми формируются металлорганические комплексы, большей частью нерастворимые в воде [4].

Связывание ТМ клеточной поверхностью и поверхностью хлопьев активного ила обусловлено их физической и хемосорбцией, концентрированием на поверхности и в диффузном слое частиц активного ила. Известно, что белковые вещества способны образовывать прочные труднорастворимые металлорганические комплексы со многими металлами. Это обусловлено присутствием в органической части активного ила большого количества функциональных групп способных участвовать в ионном обмене (карбоксильные, карбонильные и др.).

Внутриклеточное накопление является результатом потребления металлов в процессе жизнедеятельности микроорганизмами активного ила и носит избирательный характер. Однако закрепление металлов в составе живых организмов носит временный характер, т.к. после их отмирания и минерализации металлы могут активно мигрировать [5].

Поэтому изучению процессов миграции ТМ из ИАИ предшествовало фракционирование ТМ, содержащихся в ИАИ. Используемая методика фракционирования позволила получить информацию не только о «прочности» связи ТМ с веществом активного ила, но и дала представление о формах связывания ТМ.

При выборе методики определения форм связывания использованы подходы, предложенные Садовниковой Л.К. и Касатиковым М.В. [6] ориентированные на определение форм связывания тяжелых металлов в почве, а также рекомендации, изложенные в [7, 8, 9]. Выделяли следующие фракции связывания ТМ: свободная (тяжелые металлы, содержащиеся в несвязанном состоянии в надильной воде), солевая (тяжелые металлы, связанные поверхностной сорбцией), обменная (тяжелые металлы, участвующие в ионном обмене), органическая (тяжелые металлы, накопленные внутри клетки) и остаточная (тяжелые металлы, связанные в труднорастворимые и нерастворимые хелатные комплексы). Для использования результатов фракционирования при прогнозировании миграции ТМ из активного ила целесообразно объединить указан-

ные фракции в две группы: легкоподвижная и трудноподвижная. Очевидно, что к легкоподвижной фракции ТМ активного ила могут быть отнесены свободная, солевая и обменная фракции, к трудноподвижной – органическая и остаточная.

Измерения массовых концентраций ТМ в пробах проводили флюориметрически на анализаторе жидкости "Флюорат-02". Пробоподготовку проводили методом сухого озонирования. Пробоподготовка включала в себя минерализацию твердых и жидких проб в течение 6-8 часов при 400 °С в токе газообразных окислителей (озона и оксидов азота) в минерализаторе "APION" с последующим растворением озоненных проб в горячей азотной кислоте.

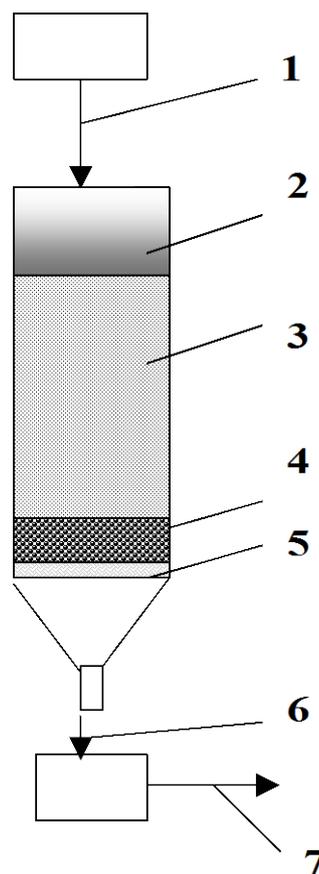


Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования процессов миграции ТМ:

1 – подаваемый раствор (элюент); 2 – осадок; 3 – дренаж; 4 – гравий; 5 – стеклоткань; 6 – фильтр; 7 – проба для анализа на содержание ТМ.

Анализируя результаты фракционирования соединений железа, цинка, хрома можно отметить, что распределение по формам связывания железа и цинка имеет идентичный характер, причем основное количество названных металлов присутствует в трудноподвижной фракции - соответственно 74 и 88 % от валового содержания. Для хрома характерно преобладание легкоподвижной фракции, на долю которой приходится 80 % от валового содержания. При этом, для железа и хрома характерны все формы связывания, а для цинка можно утверждать о минимальном вкладе поверхностной сорбции в его иммобилизацию активным илом, т.к. в солевой фракции присутствие цинка не обнаружено. Формы нахождения химических элементов в илах указывают на возможность активного распространения загрязнения с потоками инфильтрационных вод, а преобладание в некоторых случаях подвижных геохимически активных форм нахождения токсичных метал-

лов свидетельствует об их высокой потенциальной опасности [10].

Способность тяжелых металлов мигрировать в подземные воды, помимо форм нахождения химических элементов в илах, определяется химическими свойствами металла и сорбционными свойствами почв и пород зоны аэрации; механизмами миграции загрязняющих веществ в них, зависящие от физико-механических, водно-физических, фильтрационных свойств и минералогического состава; мощностью защитной зоны; формами миграции тяжелых металлов (ионная, комплексная); интенсивностью процесса разбавления загрязненного инфильтрационного потока подземными водами; наличием „быстрых“ и „медленных“ путей миграции.

Кроме этого, изменение гидрохимических условий часто вызывает ремобилизацию уже элиминированных загрязнителей. Можно выделить следующие основные причины, вызывающие ремобилизацию и вторичное загрязнение подземных вод [11].

1. Уменьшение pH подземных вод в локальном масштабе (вследствие микробиологической активности или вблизи рудных залежей, при инфильтрации загрязненных промышленных сточных вод) и региональном – в бедных по содержанию карбонатов почвах и породах зоны аэрации и при кислых осадках. В последнем случае растворяются прежде всего карбонаты и гидроксиды ионов металлов и увеличивается десорбция ионов металлов из-за замещения их H-ионами.
2. Уменьшение Eh вследствие исчезновения кислорода при прогрессирующей микробиологической деятельности, причем растворяются оксиды и гидроксиды железа и марганца.
3. Повышение Eh при окислении сульфидно связанных ионов металлов, которые при этом переходят в подвижные формы.
4. Наличие или ввод в водоносный комплекс естественных (или техногенных) комплексообразующих веществ.
5. Повышение минерализации (солености) подземных вод вследствие смешивания с глубинными водами, причем повышается растворимость ряда малорастворимых соединений, а также совершается десорбция ионов тяжелых металлов за счет конкуренции других катионов. Иногда и понижение ионной силы вследствие, например, инфильтрации „свежих“ поверхностных вод дает тот же эффект.
6. Вымирание живых организмов, освобождающих аккумулярованные перед этим загрязнители.
7. Изменение температуры подземных вод, что сказывается, главным образом, на растворимости осадков.

Часто эти причины действуют комбинированно, иногда тем самым еще больше усложняя прогнозирование.

Основными факторами, оказывающими влияние на состав миграционных потоков рассеивания ТМ, приводящих к загрязнению подземных вод в районе расположения ИП, являются объем инфильтрационных вод, поступающих в подземные воды, который находится в непосредственной зависимости от влажности ИАИ и количества атмосферных осадков, и их pH.

Нами установлены закономерности миграции цинка, хрома и железа из ИАИ в зависимости от pH атмосферных осадков, попадающих на иловые площадки и удаляемых в результате инфильтрации дренажной системой или поступающих в подземные воды.

Процессы миграции тяжелых металлов в подземные воды зависят от многих факторов. Основными из них являются не только формы связывания металлов микроорганизмами АИ, но и гидрогеологические условия, сложившиеся в районе расположения ИП. При изучении миграции тяжелых металлов в качестве фильтрующей среды использовали песок (карьер „Черкасы“, Минская область), что позволило имитиро-

вать наиболее неблагоприятные условия, т.к. песок обладает минимальными сорбционными свойствами и максимальным коэффициентом фильтрации. В таких условиях можно оценить максимально возможный уровень загрязнения подземных вод, обусловленный миграцией тяжелых металлов из активного ила.

С целью моделирования атмосферных осадков в колонки подавались растворы со значениями pH соответствующими всему диапазону осадков, создавая, при этом, кислую, нейтральную и щелочную среды. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Количество тяжелых металлов, мигрировавших из избыточного активного ила, в условиях эксперимента, мг/кг сухого вещества ИАИ

Среда	Железо	Хром	Цинк
Кислая, pH=4	190,6	2,5	24,6
Нейтральная, pH=7	712,2	2,2	10,0
Щелочная, pH=9	182,7	1,6	28,2

Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными. Так, в кислой среде наблюдается достаточно высокая подвижность для хрома и цинка [12]. Повышение pH с 4,6 до 7 снижает содержание подвижных форм этих металлов. Для хрома эта тенденция продолжается и при последующем увеличении pH. Увеличение миграции цинка при pH около 9 свидетельствует о том, что появляются растворимые формы типа $HMeO_2^-$ и MeO^{2-} [13]. Уменьшение доли мигрирующих железа и хрома в щелочной среде можно объяснить также и тем, что они наиболее предрасположены к связыванию органическими веществами [14].

Анализ полученных зависимостей количества мигрирующих металлов от расхода промывной жидкости показывает, что при pH атмосферных осадков равном 4,0 степень вымывания наибольшая для хрома. При этом количество жидкости, требуемое для удаления подвижных форм хрома из ИАИ, составляет 150-160 г/г сухого вещества. Минимальная подвижность хрома соответствует pH 9,0 (рис. 2).

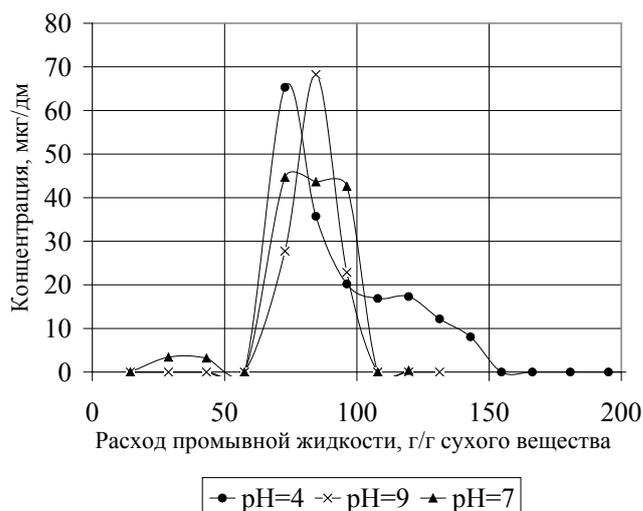


Рис. 2. Зависимость концентрации хрома в фильтрате от расхода промывной жидкости.

Степень вымывания цинка наибольшая для pH 9,0 и удаление подвижных форм этого металла достигается при расходе фильтрата 160-200 г/г сухого вещества (рис. 3).

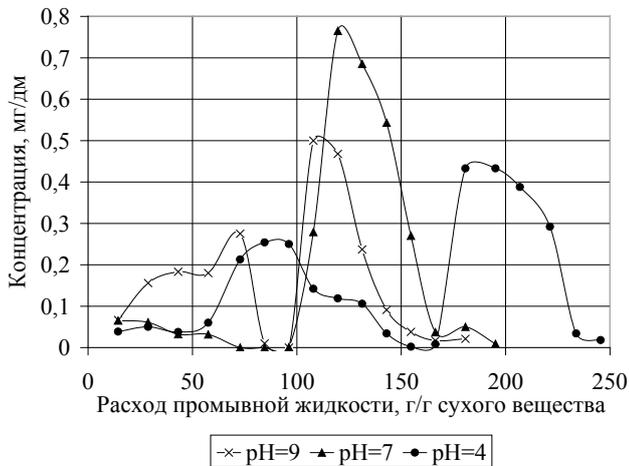


Рис. 3. Зависимость концентрации цинка в фильтрате от расхода промывной жидкости.

Для железа характерно максимальное удаление подвижных форм при pH промывной жидкости равном 7,0 (рис.4). Количество фильтрата, при котором удаляются подвижные формы железа, в сравнении с цинком и хромом наименьшее и составляет 100-125 г/г сухого вещества.

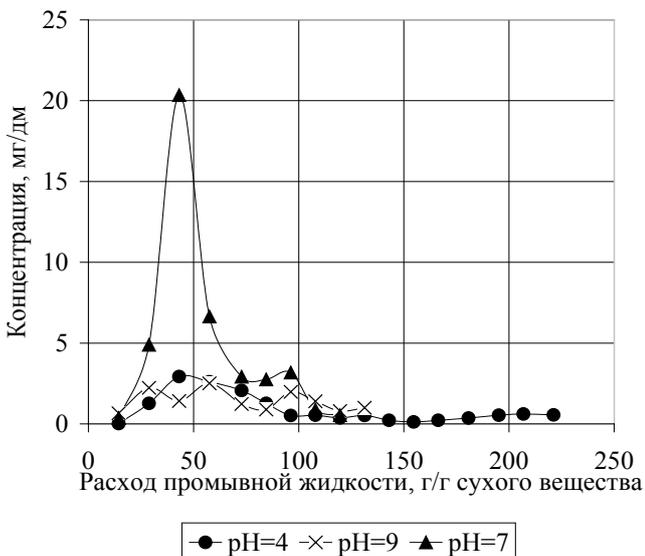


Рис. 4. Зависимость концентрации железа в фильтрате от расхода промывной жидкости.

Миграционная способность тяжелых металлов, содержащихся в избыточном активном иле, во многом зависит от формы связи, в которой они находятся в иле.

Так, в условиях эксперимента при всех значениях pH промывной жидкости вымывались хром и цинк, находящиеся в свободной форме связывания. Иначе обстоит ситуация в случае с железом. Так при pH 4 и 9 мигрировало железо, находящееся в свободной и солевой формах. При pH 7 наблюдалась наибольшая миграционная способность железа и, как следствие этого, мигрировало железо, содержащееся во всех формах связывания. При этом доля мигрирующего железа, содержащегося в остаточной форме связывания, составила 16 %.

Как уже было указано выше, на миграционную способность ТМ значительное влияние оказывают влагоотдающие свойства ИАИ. Известно, что при подсушке иловый осадок частично или полностью теряет способность к пептизации и способен удерживать значительно меньше влаги, чем исходная иловая суспензия. При этом соотношение между количествами влаги, удаляемыми в результате испарения и инфильтрации, может существенно меняться в сторону увеличения объема фильтрата. В связи с этим интерес представляет изучение жизненного цикла стадии эксплуатации ИП, которое включало исследование нескольких циклов „подсушка-увлажнение“ ИАИ.

Были проведены исследования, в ходе которых изучено влияние многократной подсушки и увлажнения ИАИ на его водоудерживающие свойства, которые оценивались по интенсивности сушки, соотношению количества жидкости, удаляемой испарением и в виде фильтрата.

Для этого была воспроизведена технология подсушки ИАИ на ИП с подробным разбором факторов, влияющих на процесс обезвоживания ила.

В качестве основного контролируемого параметра было выбрано изменение содержания влаги в ИАИ. Влагосодержание ИАИ помимо прямого (через объем инфильтрационной воды) оказывает косвенное воздействие на окружающую среду, которое является следствием протекания процессов биотрансформации вещества активного ила.

Известно [3], что скорость биологических процессов при влажности 30 % резко падает. А минимальная влажность, при которой возможна жизнедеятельность микроорганизмов составляет 15 %.

Анализ данных, касающихся влияния многократного увлажнения и сушки ила на его способность удерживать воду, свидетельствует о том, что с увеличением количества циклов подсушки ИАИ происходит уменьшение периода подсушки до одной и той же влажности. Чем меньше время подсушки ИАИ до требуемой влажности, тем больше доля жидкости, удаляемой из пробы с фильтратом, и соответственно, тем меньше количество испарившейся жидкости. В среднем за один цикл количество жидкости, удаленной фильтрацией, составляет 83,4 %, а испарением – 16,6 %. Удельное сопротивление осадка - $4,26 \cdot 10^{12}$ см/г. Средняя интенсивность сушки - $0,0105$ мг/(мин·см²).

Результаты исследования влияния многократного увлажнения и подсушки активного ила на миграцию ТМ представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2. Зависимость количества мигрирующего металла от влажности (за 3 цикла, расход фильтрационных вод составил 67 г/г сухого вещества)

Влажность	Хром		Цинк		Железо	
	мг/кг сухого вещества	% от валового	мг/кг сухого вещества	% от валового	мг/кг сухого вещества	% от валового
90 %	8,09	57,8	10,92	12,8	22,21	3,7
80 %	1,46	10,4	0,05	0,06	8,32	1,4
70 %	1,18	8,4	19,26	22,7	9,00	1,5
50 %	1,58	11,3	3,43	4,0	34,97	5,8

Таблица 3. Количество мигрировавшего металла за 10 циклов (расход фильтрационных вод - 185 г/г сухого вещества)

Величина	Хром	Цинк	Железо
Количество, мигрировавшего металла, - мг/кг сухого вещества	13,13	32,33	95,67
- % от валового	94,1	36,8	15,4

Из табл. 2 и 3 видно, что наибольшая миграционная способность наблюдается у хрома. При этом при подсушке до 90 % влажности мигрирует около 70 % от массы легкоподвижной фракции хрома. Однако, наиболее опасная ситуация складывается в случае миграции цинка, поскольку при подсушке до влажности 90 и 70 % происходит полное вымывание легкоподвижной фракции и соответственно 2 и 13 % от массы трудноподвижной фракции. Наименьшая миграционная способность наблюдается для железа. Максимальное значение наблюдается в случае подсушки ИАИ до 50 % и составляет 22 % легкоподвижной фракции.

Анализируя полученные экспериментальные данные, важно отметить, что многократное увлажнение и подсушка ИАИ приводит к увеличению количества мигрирующего хрома и цинка, и уменьшению количества мигрирующего железа. Расход фильтрата при изучении миграции в случае многократного увлажнения и подсушки ИАИ составил 185 г/г сухого вещества, а при постоянном промывании ИАИ – около 200 г/г сухого вещества.

Таким образом, в результате исследований установлены закономерности вымывания хрома, цинка и железа из избыточного активного ила в диапазоне pH 4,0 ÷ 9,0. Удельные показатели миграции составили: по хрому 1,6-2,5 мг/кг, по железу 182-712 мг/кг, по цинку 10-28 мг/кг сухого вещества осадка.

Миграционная способность исследуемых тяжелых металлов зависимости от pH среды изменялась в следующем ряду:

Хром: кислая > нейтральная > щелочная.

Цинк: щелочная > кислая > нейтральная.

Железо: нейтральная > кислая > щелочная.

Многократное увлажнение и подсушка избыточного активного ила приводит к увеличению количества мигрирующего

УДК 624.191.814

Дубяго Д.С.

ОБРАЗОВАНИЕ БЕТОНОПОЛИМЕРА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА

В настоящее время основным материалом для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструктивных элементов гидротехнических сооружений на мелиоративных и водохозяйственных системах является гидротехнический бетон. Он представляет собой капиллярно - пористую систему, которая потенциально обладает некоторым количеством связанных и не связанных с поверхностью бетона пор и капилляров. Количество и общий объем таковых с течением времени уменьшаются из-за постоянно протекающих, при обеспечении соответствующих условий, процессов гидратации цемента с параллельным заполнением объема пор и ка-

щего хрома и цинка, и уменьшению количества мигрирующего железа

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шарафутдинов Р.Б., Строганов А.А., Левин А.Г., Ларичев Л.Н., Шишиц И.Ю. Геолого - геохимические аспекты захоронения радиоактивных отходов // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 1999. - № 5. – С. 2 - 91.
2. Гедройц К.К. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 559 с.
3. Биотехнология: Принципы и применение/ Под ред. И.Хиггинса. – М.: Мир, 1988. – 479 с.
4. Илялетдинов А.Н. Микробиологические превращения металлов. – Алма - Ата: Наука, 1984. – 268 с.
5. Сеницын А.П., Райнина Е.И. Лозинский В.И. Иммунизированные клетки микроорганизмов. - М.: Изд-во МГУ, 1994. – 288 с.
6. Садовникова Л.К., Касатиков М.В. Влияние осадков сточных вод и извести на подвижность соединений тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия. – 1995. - № 6. – С. 81 - 88.
7. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения / Под ред. Гавич И.К. – М.: Недра, 1985. – 320с.
8. Ильин В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрохимия. –1995. - № 1. – С.94 - 99.
9. Черных Н.А., Ладонин В.Ф. Нормирование загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1995. - № 6. – С. 71 - 79.
10. Геоэкологические исследования и охрана недр. - М.: Геоинформмарк, 1992. - № 1 – С. 50.
11. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения / Под ред. Гавич И.К. – М.: Недра, 1985. – 320 с.
12. Снижение негативного влияния тяжелых металлов на растения при утилизации осадков городских сточных вод. - Минск, 1993. – 22 с.
13. Дегтярев А.П. Эколого-геохимическая оценка бассейна реки Ардон // Проблемы охраны геологической среды: Тез. докл. науч.- практ. конф., Минск, 19 - 21 апр. 1995 г. / Белорусский государственный университет. – Минск, 1995. - С.69 - 71.
14. Охрана окружающей среды / Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 424 с.

пилляров новообразованиями. При нанесении на поверхность гидротехнического бетона растворов на основе полимерной композиции, обладающих относительно низкой вязкостью, происходит проникновение этих веществ в поверхностные слои. Под влиянием физико-механических процессов в поверхностных слоях бетона происходит реакция полимеризации с образованием нового искусственного каменного материала - бетонополимера.

Для выявления условий образования бетонополимера на основе клея универсального «Бустилат-М» производства ОАО "Брестский завод бытовой химии" были проведены экс-

Дубяго Дмитрий Святославович. Ассистент каф. обустройства сельских населенных мест Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Беларусь, БГСХА, г. Горки.