10.24412/2782-3830-2025-2-280-285

КИРИЛЛОВ Максим Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности
Уральского государственного университета
путей сообщения,
e-mail: MVKirillov@usurt.ru

ИЛЬЯСОВ Олег Рашитович,
профессор, доктор биологических наук,
кафедры техносферной и экологической безопасности,
Уральский государственный аграрный университет,
e-mail: ilyasov3@rambler.ru

СМОРОДИНЦЕВА Елена Егоровна,
старший преподаватель кафедры
«Управление эксплуатационной работы»
Уральского государственного университета путей сообщения,
e-mail: ESmorodinceva@usurt.ru

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ВОЗДУШНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Аннотация. *В работе представлена проблема загрязнения ионами тяжелых металлов активных илов городских станций аэрации, не позволяющая их использование в сельском хозяйстве, в качестве органо-минерального удобрения. Определена концепция кондиционирования осадка с помощью высшей водовоздушной растительности, в частности тростника обыкновенного.*

Описаны объекты и методики исследования.

Приведены результаты исследований.

Ключевые слова: *Активный ил, осадок, высшая водно-воздушная растительность, тростник обыкновенный, кондиционирование, детоксикация, токсиканты.*

KIRILLOV Maxim Vladimirovich,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Transport and Communications

ILYASOV Oleg Rashitovich,
professor, doctor of biological sciences,
Department of Technosphere and Environmental Safety,
Ural State Agrarian University

SMORODINTSEVA Elena Egorovna,
Senior Lecturer at the Department of Operational Management
at the Ural State University of Railway Transport

DETOXIFICATION OF EXCESS ACTIVATED SLUDGE CONTAMINATED WITH HEAVY METAL IONS BY AIRBORNE AND AQUATIC VEGETATION

Annotation. *In work the problem of contamination by ions of heavy metals of awake oozes of city stations of the aeration, not allowing their use in agriculture, as organo-mineral fertilising is presented. The concept of air-conditioning of a deposit providing its detoxification by means of the highest water air vegetation, in particular a cane ordinary is defined.*

Objects and research procedures are described.

Results of researches are resulted.

Key words: *Active sludge, sediment, higher aquatic and aerial vegetation, common reed, conditioning, detoxification, toxicants.*

При рассмотрении современных технологий утилизации значительных масс активных илов, образующихся при биохимической очистке городских и промышленных сточных вод, было признано, что наиболее перспективным путем утилизации является использование их в сельском хозяйстве в качестве органоминерального удобрения. [1 – 3] Остальные рассмотренные пути утилизации активных илов хоть и являются полезными, но относятся к малотоннажным производствам и не решают проблему их полной утилизации, т.е. рационального использования биологических ресурсов в виде активных илов.

Следует подчеркнуть, что поиск рациональных путей использования активных илов станций аэраций важен не только с позиции экономической целесообразности, но и с экологической. Действительно, депонирование илов на иловых площадках, илонакопителях и шламохранилищах в значительной мере ухудшает окружающую среду человека, приводит к необходимости отвода под эти цели значительных площадей земли, как для строительства природоохранных сооружений, так и организации санитарных зон вокруг них.[4]

Все это указывает на отсутствие альтернативы в технологиях утилизации активных илов, их широкомасштабному использованию в качестве органоминеральных удобрений на сельскохозяйственных парковых и лесных угодьях.

Рассматривая проблему кондиционирования активных илов станций аэраций крупных промышленных городов нами было обращено внимание на невозможность использования последних в качестве удобрения из-за значительной загрязненности ионами тяжелых металлов. Сравнивая показатели качества активных илов с допустимыми нормами содержания в почвах ионов тяжелых металлов, следует отметить, что по отдельным показателям они превышают в десятки и даже в сотни раз. Это обстоятельство во многих случаях сдерживает использование активных илов по планируемому направлению, а для отдельных регионов вообще не приемлемо. Таким образом, наиболее значимой проблемой в кондиционировании, а, следовательно, и утилизации активных илов является их детоксикация.

Исходя из условий и требований к активным илам станций аэрации концепция его кондиционирования должна заключаться в максимально возможном снижении их влажности, эффективной детоксикации и санации при относительно низких энерго- и финансовых затратах.

Учитывая, что технологии обезвоживания и обеззараживания достаточно хорошо изучены и проверены практикой настоящие исследования были сосредоточены на наиболее неразработанном аспекте проблемы – детоксикации активных илов, загрязненных ионами тяжелых металлов.[3 – 8]

При этом учитывалось, что в настоящее время имеются огромные запасы активных илов, временно законсервированные на иловых полях, шламонакопителях и других местах, чаще всего мало приспособленных и не обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среде. В этом случае активные илы, пролежавшие 5 – 10 и более лет имеют относительно низкую влажность (70 – 75 %) и могли бы быть использованы в качестве удобрений на сельскохозяйственных угодьях. Однако содержание в них ионов тяжелых металлов не позволяет использовать их для этих целей повсеместно в связи с высоким фоном этих поллютантов в почвах.

Предлагаемая концепция кондиционирования активных илов этой категории предусматривает их детоксикацию с помощью высшей водовоздушной растительности, в частности тростника обыкновенного.

Объекты и методики исследований

Исследования выполнялись в лаборатории биомониторинга Уральского государственного университета путей сообщения.

Основным объектом исследований был избыточный активный ил с Северной станции аэрации города Екатеринбурга, высшая водная растительность.

При выполнении исследований, касающихся изучению десорбции ионов тяжелых металлов из активного ила с помощью высшей водно-воздушной растительности, использовался тростник обыкновенный (Phragmites australis). В качестве питательного субстрата исследовался активный ил с иловых полей городских очистных сооружений.

Исследования выполнялись, в зависимости от поставленной цели, в экспериментальных иловых картах площадью 1 м2 каждая. Карты были выполнены в виде полиэтиленовых емкостей с перфорированным днищем, заполненные активным илом, взятым с производственных иловых карт, слоем 0,4 м. Высота карт составила 0,5 м.

Располагалась опытно-производственная установка в близи производственных иловых карт станции аэрации г. Екатеринбурга.

Для поддержания температурного режима, как в летний, так и в зимний периоды года высшей водно-воздушной растительности карты вкапывались на всю глубину в землю.

Влажность твердого субстрата (активный ил) обеспечивалась естественными атмосферными осадками.

В экспериментальные иловых картах корневища с почками высаживались на глубину 0,15 – 0,20 м. Количество почек – 30 – 40 на м2.

По окончанию вегетационного сезона срезалась надземная биомасса тростника и анализировалась на содержание в них ионов тяжелых металлов. В конце первого сезона в первых трех картах выкапывались и корневища. Активный ил с экспериментальной установки изымался со всей глубины.

Образцы активного ила отбирались также и с производственных иловых карт очистных сооружений, с тех мест, откуда ил брался для заполнения экспериментальных карт, а результаты качественных анализов проб учитывались в дальнейшем в качестве фона.

Химический анализ всех проб водных растворов выполнялся по общепринятым методикам, описанных в официальных изданиях: Ю.Ю. Лурье, А.И. Рыбниковой «Химический анализ производственных сточных вод»; «Унифицированные методы анализа вод» под редакцией Ю.Ю. Лурье; «Методика проведения технологического контроля очистных сооружений городской канализации» под редакцией О.Т. Болотина.

Результаты исследований десорбции тяжелых металлов из активного ила воздушно-водной растительностью и их обсуждение.

На первом этапе исследований были выполнены работы по изучению качественного состава активного ила с иловых карт и ила после механического обезвоживания на фильтр-прессе фирмы Вилькенпресс. Предполагалось, что количественные показатели поллютантов в илах могут быть различными в сторону увеличения ила с иловых карт. Эта гипотеза строилась на том, что в составе ила с производственных иловых карт остаются после снижения его влажности с 98 % до 75 % поллютанты жидкой фазы ила, в то время как после механического обезвоживания на пресс-фильтре они отсутствуют.

Отбор проб на химический анализ ила осуществлялся с площадки 10 х 10 м, выделенной на производственной иловой карте для заполнения иловых карт пилотной установки.

Анализ наличия в активных илах ионов тяжелых металлов наглядно показал правильность рабочей гипотезы. Результаты тридцати проб, по 15 каждого типа ила, обработанные с использованием прикладных статистических программ для ПЭВМ, представлены в *табл.1*

Таблица 1.

Качество активных илов станции аэрации

Активные илы	Содержание токсикантов (тяжелые металлы), мг/кг									
	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Zn
С иловых карт	52604	<0.05	<0.1	1195	726	56276	2986	429	36353	4705
После механического обезвоживания	-	-	-	337	607	76805	1344	362	32486	2758

Результаты исследований были использованы в качестве фона при дальнейшем использовании ила в качестве твердого субстрата в экспериментальных картах пилотной установки.

Как было отмечено рабочая гипотеза о перспективности использования биосорбента в виде тростника для десорбции ионов тяжелых металлов с активного ила потребовала изучение влияния количества биомассы тростника с экспериментальных площадок на эффективность детоксикации активного ила.

С этой целью на всех девяти площадках количество высаженных корневищ с почками было различным. На первых трех по 35 – 40 почек/м2, на вторых трех по 25 – 30 и на третьих трех по 15 – 20 почек/м^2. В результате, как и следовало ожидать, урожай (по сухому веществу) надземной части растений колебался от 552 г/м^2 до 216г/м^2, что отразилось на удельном весе тяжелых металлов, потребленных биосорбентом (*табл.2*)

Таблица 2.

Вынос ионов тяжелых металлов (г/кг активного ила), из активного ила биосорбентом в зависимости от урожайности

Компонент	Урожай, г/м^2		
	552,7	381,1	216,1
Cu	27,6	25,1	18,4
Fe	1013,3	1154,6	416,1
Mn	305,7	217,9	89,3
Ni	93,3	63,1	44,55
Zn	546,1	508,8	302,4

Для проведения анализ полученных данных, использовались статистические методы.

Для каждого токсиканта проведем следующие вычисления: найдем среднее в группе, дисперсию, построим доверительные интервалы для средних значений по данным.

Для расчетов использовался встроенный пакет статистического анализа EXCEL, а именно «Анализ данных: регрессия».

На основании полученных данных построим зависимость эффективности извлечения тяжелых металлов биосорбентом от зеленой массы (*рис 1*).

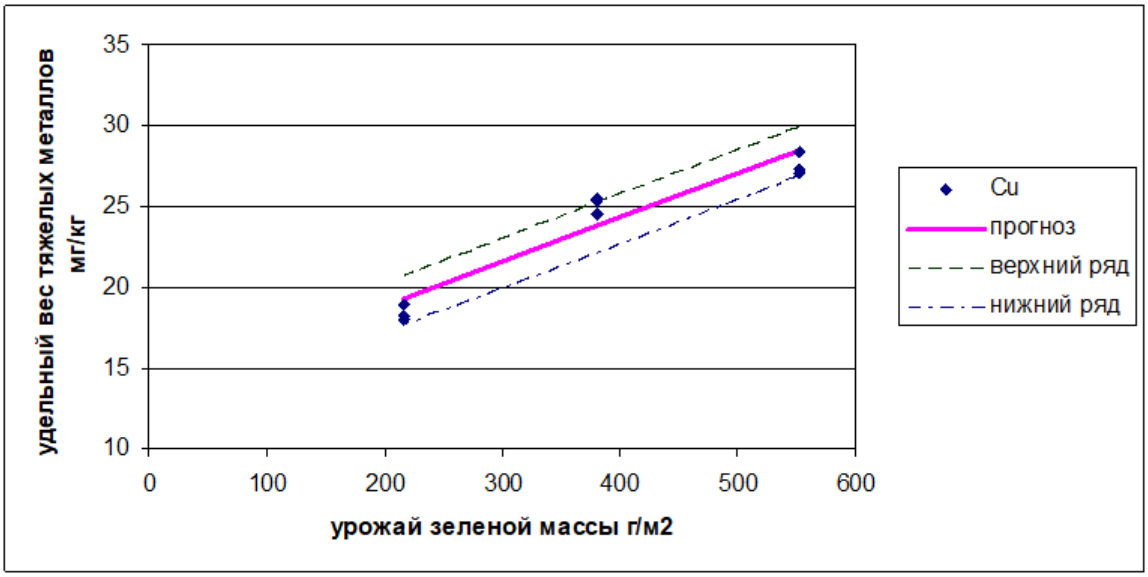


Рис. 1 Зависимость эффективности извлечения меди биосорбентом от зеленой массы

Коэффициент корреляции ≈ 0,94, (R2 = 0,88) следовательно, между X и Y существует линейная зависимость. Характер зависимости описывается уравнением:

$y = 0{,}03x + 13{,}41$

где x – урожай зеленой массы, г/м^2; y – удельный вес тяжелых металлов, мг/кг

Коэффициент корреляции значимо отличается от нуля, поэтому фактор, т.е. урожай зеленой массы биосорбента значимо влияет на десорбцию тяжелых металлов из активного ила. При более высокой плотности посадки тростника обыкновенного и увеличения его биомассы десорбция тяжелых металлов из активного ила увеличивается.

Следует отметить общую тенденцию повышения эффекта десорбции тяжелых металлов из активного ила при увеличении массы биосорбента.

Следующим этапом исследований было изучение совместно протекающих процессов биодесорбции и биоутилизации из активного ила ионов тяжелых металлов водо-воздушными растениями (тростник обыкновенный).

Наблюдения выполнялись на трех экспериментальных иловых картах. В качестве твердого субстрата использовался ил, отобранный с территории производственных карт. Иловые карты площадью 1 м2 заполнялись илом влажностью 65 – 75 % на высоту 0,4 м. На глубину 15 – 20 см заделывались корневища тростника с почками. Посадка тростника проводилась 15 – 20 мая. Корневища тростника выкапывались для посадки на экспериментальные иловые карты с территории, примыкающей к производственным иловым площадкам, а концентрации в вегетативных органах тростника ионов тяжелых металлов принимались за фон.

В конце вегетационного сезона растения выкапывались, замерялась их высота, вес вегетационных органов (листья, стебли, корни), выполнялся химический анализ последних на наличие в них поллютантов.

Анализ экспериментальных данных по содержанию ионов тяжелых металлов сорбированных и поглощенных вегетативными органами тростника позволяет отметить, что основная масса токсикантов (Zn, Ni, Mn, Co) купируется в зеленной массе 81, 99, 79, 99 % соответственно. Ионы меди распределяются между корневой системой и зеленой (надземной) массой примерно поровну, 52 и 48 % соответственно.

Распределение ионов алюминия, кадмия и железа имеет другую направленность. В корневой системе их содержание составляет 99, 99, 70 % соответственно. Если учесть, что результаты анализа растений и твердого субстрата (активный ил) показали практическое отсутствие кадмия, то его относительно высокая концентрация в корневой системе не может негативно влиять на развитие растений в целом. Судя по тому, что нормы для почв, используемых для выращивания сельхозпродукции, допускают достаточно высокие концентрации алюминия (50000 мг/кг) и железа (51000 мг/кг) [9] их присутствие в корневой системе в количестве 99 и 70 % соответственно также не может угнетать развитие растений.

Анализ результатов данных исследований показывает, что всего за один вегетационный сезон биосорбент в виде тростника способен десорбировать с активного ила, а затем вместе с почвенной влагой и потребить от 30 до 70 % токсичных поллютантов. Так ионы никеля и хрома удалены из активного ила на 70 %, ионы меди на 50 %, ионы цинка и марганца на 35 % и только ионы железа на 75 % остались в иле.

Сравнение остаточных концентраций ионов тяжелых металлов с нормативными показателями, указывающими на возможность использования активного ила в качестве органического удобрения [9], позволяет отметить высокую степень детоксикации ила с помощью высшей водо-воздушной растительности в виде тростника и перспективность его использования в технологии кондиционирования активного ила.

Выводы:

1. Выполненные собственные исследования и анализ литературных источников позволяет рекомендовать в качестве основного биологического агента, осуществляющего детоксикацию избыточного активного ила, тростник обыкновенный.
2. Исследование содержания ионов тяжелых металлов вегетативных органах тростника, посаженного на активном иле, показывает, что основная масса токсикантов купируется в его зеленной массе.
3. Тростник обыкновенный способен десорбировать с активного ила и утилизировать в своей биомассе за один вегетационный период от 30 до 70 % токсичных поллютантов.

Список литературы:

[1] Кириллов М.В., Асонов А.М. К вопросу утилизации осадков станции аэрации городской канализации // Безопасность как фактор устойчивого развития региона. Сб. докл. II научно-практической конференции. – Ижевск; РГОТУПС, 2007. - с. 36

[2] Кириллов М.В., Асонов А.М. Утилизация избыточного активного ила // Система управления экологической безопасностью. Международная заочная научно-практическая конференция «СУЭБ-2007». — Екатеринбург; УГТУ-УПИ, 2007 – с113 – 116.

[3] Кириллов М.В., Асонов А.М. Проблема утилизации активных илов // Чистая вода России – 2007. IX Международный симпозиум и выстовка. Екатеринбург.

[4] Жуков Н.Н. Состояние и перспективы развития сооружений по обработке водопроводных и канализационных осадков в городах России. // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. №12 ч.1, 3 – 6 с.

[5] Кириллов М.В., Асонов А.М. Исследование процессов десорбции ионов тяжелых металлов с избыточных активных илов с помощью кальциевых материалов. // Сотрудничество для решения проблемы отходов. V Международная конференция. – Харьков, Украина. 2008. – с 283 – 284

[6] Кириллов М.В. Асонов А.М. Обезвреживание избыточных активных илов с помощью высшей водно-воздушной растительности. ДВГУПС. Хабаровск. 2008г. – с 123 – 127

[7] Кириллов М.В. Асонов А.М. Перспективы использования опоки для десорбции ионов тяжелых металлов. // X Международный симпозиум «Чистая вода России» – Екатеринбург 2008г. – с. 513 – 517

[8] Асонов А.М., Кириллов М.В. Десорбция ионов тяжелых металлов из активного ила с помощью природного материала – опоки. // Научно-техническая конференция, посвященная 130-летию Свердловской ж.д. – Екатеринбург. 2008 г

[9] СанПиН 2.1.7.573 – 96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения

Spisok literatury:

[1] Kirillov M.V., Asonov A.M. K voprosu utilizacii osadkov stancii aeracii gorodskoj kanalizacii // Bezopasnost' kak faktor ustojchivogo razvitiya regiona. Sb. dokl. II nauchno-prakticheskoj konferencii. – Izhevsk; RGOTUPS, 2007. - s. 36

[2] Kirillov M.V., Asonov A.M. Utilizaciya izbytochnogo aktivnogo ila // Sistema upravleniya ekologicheskoj bezopasnost'yu. Mezhdunarodnaya zaochnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «SUEB-2007». — Ekaterinburg; UGTU-UPI, 2007 – s113 – 116.

[3] Kirillov M.V., Asonov A.M. Problema utilizacii aktivnyh ilov // Chistaya voda Rossii – 2007. IX Mezhdunarodnyj simpozium i vystovka. Ekaterinburg.

[4] Zhukov N.N. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sooruzhenij po obrabotke vodoprovodnyh i kanalizacionnyh osadkov v gorodah Rossii. // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2002. №12 ch.1, 3 – 6 s.

[5] Kirillov M.V., Asonov A.M. Issledovanie processov desorbcii ionov tyazhelyh metallov s izbytochnyh aktivnyh ilov s pomoshch'yu kal'cievyh materialov. // Sotrudnichestvo dlya resheniya problemy othodov. V Mezhdunarodnaya konferenciya. – Har'kov, Ukraina. 2008. – s 283 – 284

[6] Kirillov M.V. Asonov A.M. Obezvrezhivanie izbytochnyh aktivnyh ilov s pomoshch'yu vysshej vodno-vozdushnoj rastitel'nosti. DVGUPS. Habarovsk. 2008g. – s 123 – 127

[7] Kirillov M.V. Asonov A.M. Perspektivy ispol'zovaniya opoki dlya desorbcii ionov tyazhelyh metallov. // X Mezhdunarodnyj simpozium «Chistaya voda Rossii» – Ekaterinburg 2008g. – s. 513 – 517

[8] Asonov A.M., Kirillov M.V. Desorbciya ionov tyazhelyh metallov iz aktivnogo ila s pomoshch'yu prirodnogo materiala – opoki. // Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, posvyashchennaya 130-letiyu Sverdlovskoj zh.d. – Ekaterinburg. 2008 g

[9] SanPiN 2.1.7.573 – 96 Gigienicheskie trebovaniya k ispol'zovaniyu stochnyh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya

