

На правах рукописи



Аль маджмаи Салих сауд якуб

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-
ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ ДИЯЛА РЕСПУБЛИКИ ИРАК**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (строительство и ЖКХ)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор
Копытенкова Ольга Ивановна

Официальные оппоненты: **Беспалов Вадим Игоревич**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды»

Бобылев Николай Геннадьевич
кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», доцент с возложением обязанностей заведующего кафедрой Экологической безопасности и устойчивого развития регионов

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова", г.Санкт-Петербург

Защита состоится «18» октября 2017 г. в 16:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.002.03 на базе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ауд. 3-237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте <http://www.spbstu.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
объединенного диссертационного совета
Д 999.002.03



Каверзнева Татьяна Тимофеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Загрязнение окружающей среды в Ираке приобрело угрожающие масштабы. На территории Ирака выявлены 300 загрязненных территорий, расположенных во всех губернаторствах и представляющих угрозу всему населению страны. В рамках сотрудничества с программами ООН по защите окружающей среды в пяти обследованных районах обнаружены тяжелые металлы, обедненный уран, соединения ртути, хрома, хлора, фенола, серы, цианиды и другие опасные вещества.

Одну из наиболее важных проблем экологической безопасности территории страны представляет состояние водных объектов, систем канализации и питьевого водоснабжения. В Ираке системы очистки и распределения воды находятся в полуразрушенном состоянии.

ООН инициировало работы по исследованию территорий Ирака на предмет загрязнения окружающей среды и определения наиболее приоритетных природоохранных мероприятий в условиях сложной экономической и социальной ситуации. Данная работа является первым этапом долгосрочной программы ООН по восстановлению качества окружающей среды и обеспечению геоэкологической безопасности страны после длительного периода войн и изоляции от мирового сообщества.

Крупнейшими речными системами Ирака являются бассейны трансграничных рек Тигр и Евфрат и приток реки Тигр – река Дияла. Река Дияла не только наиболее значительный приток реки Тигр, но и важный водный источник Ирака. На берегах р. Дияла расположено большое число городов и населенных пунктов с сопутствующими экологическими проблемами.

В отношении водотоков Ирака были проведены исследования Tomlinson et al., 1980; Soares et al., 1999, Al-Lami, Al-Jaberi, 2002, Al-Rawi, 2005, Rabee et al., 2011, Al-Jebouri, Edham, 2012, Al-Bayatti et al., 2012, Al-Ani et al., 2014, Al-Obaidy et al., 2014, Al-Bahrani, 2014, Shamout, Lahn, 2015, Al-Maliki et al., 2015. Изучению водотока Дияла посвящены немногочисленные исследования на отдельных ее участках (Al-Adili, Al-Suhail, 2010, Hussein, 2010). Комплексные геоэкологические исследования в районе реки на данный момент времени не проводились. Обоснование первоочередных природоохранных мероприятий по обеспечению геоэкологической безопасности региона отсутствуют.

Актуальность работы обусловлена необходимостью обоснования комплекса природоохранных мероприятий направленных на обеспечение геоэкологической безопасности в районе реки Дияла – важной водной артерии Ирака.

Цель диссертационной работы – обосновать выбор системы природоохранных мероприятий, позволяющих обеспечить наилучшие параметры экологической безопасности на основе комплексного анализа состояния территории в районе реки Дияла.

Объектом исследования является водоток Дияла, протекающий по территории Ирака. *Предметом исследования* является оценка экологического состояния реки Дияла, выявление особенностей загрязнения донных отложений водотока.

Для достижения цели в работе были решены следующие основные задачи

Основные задачи исследования:

Выполнить комплексную оценку результатов антропогенного воздействия на экологическое состояние реки Дияла по показателям загрязнения водной среды, донных отложений и почвы.

1. Разработать метод интегральной оценки почвы и донных отложений водотоков для характеристики экологической ситуации.
2. Провести апробацию метода биоремедиации тяжелых металлов.
3. Научно обосновать выбор приоритетных природоохранных мероприятий для улучшения экологической ситуации природно-техногенной системы в районе реки Дияла.

Теоретической и методологической основой исследования явились литературные источники и проведенные натурные исследования. *Информационную базу* работы составили результаты собственных исследований проб воды, донных отложений и образцов прибрежных почв реки Дияла на шести станциях, измерения метеорологических и гидрологических параметров, расчет интегральных показателей загрязнения. Результаты исследования канализационных коллекторов. Результаты эксперимента биотестирования и биоремедиации воды реки Дияла.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработан алгоритм оценки экологической ситуации, включающий использование комплекса интегральных показателей загрязнения воды, донных отложений и почвы, позволяющий провести оценку характера антропогенного воздействия на природно-техногенную систему и определить приоритетные природоохранных мероприятий для ее защиты;

- разработан метод интегральной оценки почвы и донных отложений, позволяющий характеризовать уровень загрязнения с учетом токсичности загрязнителя;

- научно обоснованы и выбраны точки для организации мониторингового наблюдения с наиболее типичными характеристиками загрязнения в результате применения метода математического моделирования распространения загрязнителей по течению реки Дияла;

- установлены значения выживаемости экологического тест-объекта в условиях применения бактерий *Pseudomonas Aeruginosa* для биоремедиации тяжелых металлов.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем.

Подтверждена возможность применения метода интегральной оценки почвы и донных отложений (на основе использования предельно допустимого превышения и учета токсичности загрязнителей) для характеристики экологического состояния водотока. Получены новые данные об эффективности бактерий *Pseudomonas Aeruginosa* в процессе снижения токсичности водной среды при загрязнении ее тяжелыми металлами.

Практическая значимость исследования заключается в разработке и формулировании инструмента для проведения подобных исследований в отношении других рек Арабского региона; разработке практического приема расчета комплекса показателей для определения приоритетности природоохранных мероприятий реализуемых органами местного самоуправления и на уровне государственной власти. Результаты внедрены в проектную деятельность ООО «Институт медико-экологических проблем и оценки риска здоровью – Строительство. Проектирование» (Акт внедрения от 20.03.2017), внедрены в учебный процесс кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ПГУПС (акт внедрения от 14.03.2017). Решение о выдаче патента на полезную модель «Устройство для очистки поверхностных сточных вод» № 2017107316/05(012752) от 30.03.2017 г.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертационном исследовании задач были использованы следующие методы: теоретическое обобщение и анализ современных знаний в области загрязнения поверхностных водоисточников Ирака; физико-

химический и химический анализ проб воды, почвы и донных отложений фотокалориметрическим и атомно-абсорбционным методами на базе лаборатории университета г. Дияла; визуальное и инструментальное исследование канализационных коллекторов, статистический анализ, математический расчет и моделирование с использованием стандартного пакета программ Microsoft Excel, STADIA, Flowworks Simulation.

Положения, выносимые на защиту.

1. Разработан метод интегральной оценки почвы и донных отложений основанный на использовании предельно допустимого превышения и учета токсичности загрязнителей, позволяющий установить закономерности изменения экологической ситуации при загрязнении тяжелыми металлами.

2. Построена математическая модель распространения загрязнителей реки Дияла, позволяющая определить участки преимущественного загрязнения водной среды за счет антропогенного воздействия и определить точки наиболее типичного загрязнения для организации экологического мониторинга.

3. Реализация алгоритма комплексной оценки состояния поверхностного водоисточника позволяет обосновать выбор приоритетных природоохранных мероприятий для нормализации экологической ситуации природно-техногенной системы в районе р. Дияла: использование спирально-навивочного метода санации и ремонта канализационных коллекторов; применение бактерий *Pseudomonas Aeruginosa* в целях биоремедиации в отношении тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu); применение алюмосиликатного сорбента для снижения концентрации металлов в сточных водах.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций подтверждается: большим объемом экспериментальных, лабораторных, аналитических исследований; применением утвержденных методов исследования воды поверхностных водоисточников, донных отложений и почвы, современного оборудования; использованием репрезентативного объема исследований; использованием метода математического моделирования и современных методов статистической обработки результатов исследования; сопоставлением результатов экспериментальных исследований с результатами исследований других авторов.

Апробация результатов исследования. Основные положения и практические результаты диссертационной работы докладывались на XI международная научно-практическая конференция «Молодой ученый: вызовы и перспективы» (2016); III Всероссийской заочной научно-практической конференции посвященной 85-летию профессора Г.В. Селюжицкого с международным участием «Актуальные вопросы гигиены»; X Всероссийской научно-практической конференции «Наука молодых» (Арзамас 2017 г); XXXIV Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах Европы и Азии» (2017г.).

Личный вклад автора заключается: в постановке цели и задач исследования, разработке плана и программы исследования, проведении анализа сведений состоянии крупных водных артерий Ирака, организации и проведении натурных исследований природных сред реки Дияла на базе лаборатории университета Дияла, в также анализе результатов натурных исследований; обработке и интерпретации полученных данных; статистической обработке и интерпретации результатов математического анализа;

формулировке выводов и практических рекомендаций, а также положений, выносимых на защиту.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, 3 из которых в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 160 страницах, содержит 5 глав, введение и заключение, список использованной литературы из 146 наименований, включает 8 приложения, 25 таблицы, 18 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность проведения исследований по оценке геоэкологического состояния реки Дияла в Ираке. Представлены цель и задачи проведения исследований. Обоснованы научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе «Анализ ранее проведенных геоэкологических исследований рек Ирака»** представлен анализ результатов исследования крупнейших речных системам Ирака – рек Тигр, Евфрат и их притоков. Определены основные источники их загрязнения (коллекторно-дренажные системы мелиоративных сетей и, промышленных комплексов, объекты нефтяной промышленности, топливно-энергетический комплекс и коммунальное хозяйство). Серьезным источником загрязнения являются бытовые сточные воды, которые, как правило, сбрасываются без предварительной очистки.

О преобладающем антропогенном источнике поступления тяжелых металлов в окружающую среду свидетельствует величина индекса загрязнения (Pollution load index) больше единицы. В отношении реки Дияла в 2011 году на нескольких станциях были проведены исследования содержания Zn, Ni, Cd, Cu, Pb, Cr, которые установили значительные превышения содержания никеля, кадмия, свинца, хрома относительно предельно-допустимых значений стандарта Ирака. На основе полученных данных разработана программа проведения исследований для обоснования природоохранных мероприятий для решения экологических проблем р. Дияла.

Вторая глава «Характеристика объекта и района исследований (р. Дияла, Ирак)» включает информацию по физико-географическому описанию района исследований, геологическую и гидрогеологическую характеристику и гидрологические показатели реки Дияла. Район проведения исследований расположен в пределах Месопотамской низменности в Ираке. Длина реки составляет 231 км, площадь бассейна реки – свыше 30 тыс. км². Верховья реки находятся в горах Загрос, низовья – на Месопотамской низменности. Под влиянием процессов выпадения осадков, испарения и сельско-хозяйственной деятельности качество воды в р. Дияла меняется в течение сезона года. На основе полученных данных определены периоды проведения исследований.

Третья глава «Методика исследований» посвящена характеристике методов исследований. Обоснованы точки (станций) проведения исследований (рис. 1): Эль-Микдадия (1), Абу-Саида (2), Бакуба (3), Бахри (4), Бани-Саад (5), Багдад (6). Расположение точек представлено на рисунке 1.

Отбор проб воды, донных отложений и почвы осуществлялся в соответствии с требованиями действующей нормативной документации по ГОСТ 31861-2012, который соответствует международным стандартам Water quality - Sampling - Part 1-3 (ISO 5667-1:2006, ISO 5667-2:1991, ISO 5667-3:2003) и ГОСТ 17.1.5.01-80.

Исследования гидрологических и физических, физико-химических показателей проведено в соответствии с действующей нормативно-технической документацией. (РД 52.24.495-2005, ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009, ПНД Ф 14.1:2.101-97, ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97, ГОСТ 31954-2012, ГОСТ 31957-2012, ГОСТ 33045-2014 ГОСТ 18963-73 (с изменениями на 2017 г.)) и зарубежными стандартами ASTM D1067-06 и ISO 9963-2:1994.

Исследование состояния канализационных коллекторов и определение глубины карбонизации проведено в соответствии со справочным пособием «Испытание бетона». Обработка материалов выполнялась по ГОСТ 18105-2010. «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности».

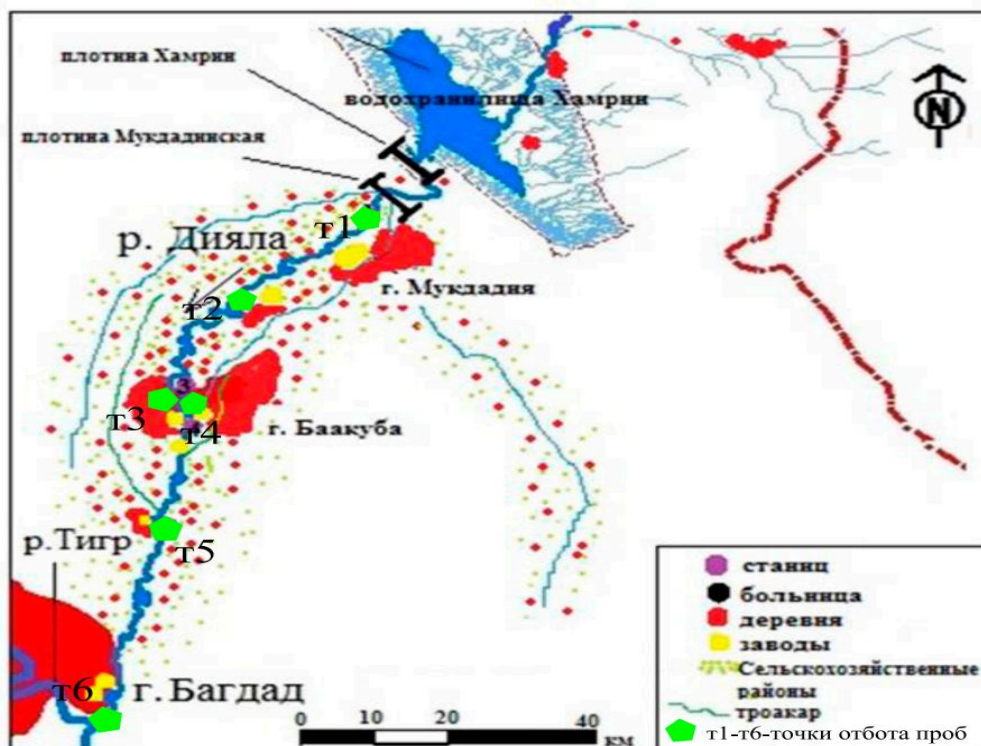


Рис. 1. Расположение точек исследования на реке Дияла

При проведении биотестирования в качестве тест-объектов использовались *Syrphus carpio*. Исследования проведены по общепринятой методике. По окончании срока эксперимента (96 часов) исследованы образцы, где проводились замеры биоаккумуляции тяжелых металлов. Результаты сравнивались с значениями растворенных в воде металлов.

Для изучения процесса биоремедиации использованы бактерии *Pseudomonas aeruginosa*. Исследовались содержания металлов в воде и тест-объектах. Исследования проведены в отношении трех металлов в течение 96 часов: свинца (в концентрациях 55, 65, 75 мг/л), меди (2, 3, 4 мг/л) и хрома (7, 8, 9 мг/л).

Моделирование распространения загрязнителей в воде проводилось с использованием модуля программы Floworks Simulation.

Статистическая обработка аналитических данных осуществлялась общепринятыми в экологии и геохимии методами. Расчеты производились при помощи программ Microsoft Excel 2010. Для графической иллюстрации результатов использовались программы Microsoft PowerPoint 2010 и Corel Draw X6.

В четвертой главе «Характеристика загрязнения воды и донных отложений реки Дияла». В пробах всех станций отмечены превышения содержаний взвешенных веществ,

показателей жесткости, щелочности, а также содержание растворенного кислорода менее норматива при сравнении с нормативами стандарта по окружающей среде Ирака (Iraqi Environmental Standards, 2011). Превышения показателей БПК характерны для станций Эль-Микдадия, Абу-Саидла, Баакуба в зимнее время и для станции Эль-Микдадия в летнее время. По показателям жесткости вода реки Дияла является очень жесткой (более 12 мг-экв/л). Общая щелочность в воде р. Дияла превышает показатели норматива ЕС в десятки раз. Содержания кальция превышают норматив ЕС на станциях Бахри и Багдад в зимнее время и на станциях Бахри, Бани-Саад и Багдад в летнее время. Содержания магния превышают норматив ЕС на станциях Бахри и Багдад в пробах, отобранных в зимнее время и на станции Багдад в летнее время. В воде реки Дияла наблюдаются превышения нормативных показателей бактерий *E.Coli*, *Staphylococcus aureu*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Основным источником поступления патогенных микроорганизмов в речную систему являются стоки ЖКХ. По показателям микробиологического загрязнения воды реки Дияла характеризуется значительными превышениями. Для сравнения, содержание *E. coli* в р. Тигр – 30 клеток (Al-Bayatti et al., 2012) в р. Малый Заб всего 2 клетки на 100 мл воды (Al-Jebouri, Edham, 2012).

Среднее содержание растворенных и взвешенных веществ находится в пределах норматива ВОЗ, но на станции Багдад отмечены превышения, как в зимний, так и в летний период, предположительно ввиду большого количества неочищенных стоков ЖКХ и промышленных предприятий. Среднее содержание взвешенных веществ превышает норматив ВОЗ более чем в 20 раз. Содержания растворенных веществ, по сравнению с данными для реки Большой Заб выше от 1,5 (станция Эль-Микдадия) до 6-7 (станция Багдад) раз. В сравнении с данными по р. Евфрат разница более значительна. Следует отметить достаточно низкое содержание в воде р. Дияла растворенного кислорода (в два и более раз ниже, чем в реках Большой Заб, Евфрат и Шатт-Эль-Араб). Средняя жесткость, содержание нитратов, фосфатов, сульфатов и кальция в воде р. Дияла находятся в пределах нормативов ВОЗ. Предполагается, что наиболее значимым источником загрязнения реки являются стоки ЖКХ, которые приводят как к химическому, так и бактериологическому загрязнению. В сравнении с другими реками Ирака в воде р. Дияла отмечены более высокие значения Cd, Fe, Hg. Содержания меди более низкие, чем в р. Тигр. Значительные превышения ПДК отмечаются для кадмия, ртути и меди на всех станциях. Для железа отмечены превышения нормативов на станции Эль-Микдадия в зимнее время и на станциях Баакуба, Бахри, Бани-Саад и Багдад в летнее время.

Для комплексной оценки водной среды районов исследования использованы интегральные показатели Heavy metal pollution index (HPI) и индекс загрязнения воды рассчитанный по гидрохимическими показателям (концентрация растворенного кислорода, рН, БПК5, ХПК, NH₄⁺, концентрация Cd, Fe, Cu, Hg). Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Ввиду высоких концентраций аммонийного иона, а также нестандартных показателей БПК5 и ХПК и высокого микробного числа в воде реки Дияла можно сделать вывод, что ЖКХ является определяющим фактором в загрязнении вод р. Дияла.

Кроме того по содержаниям тяжелых металлов воды р. Дияла характеризуется сильным (Fe) и очень сильным загрязнением (Cd, Hg). Полученные данные позволяют отметить, что вода реки Дияла не пригодна для жизнедеятельности водных организмов.

Таблица 1. Показатели содержаний металлов и НРІ в воде р. Дияла

Параметр	Cd	Fe	Hg	Cu
Максимальное содержание	0,74	1,6	0,81	1,6
Минимальное содержание	0,11	0,1	ниже предела обнаружения (0,0005)	0,2
Среднее	0,34	0,48	0,37	0,59
Iraqi Environ. Standards	0,005	0,3	0,001	0,05
НРІ	105,8	3,8	572,8	22,8

Таблица 2 Характеристика воды на участках проведения исследований по показателю индекса загрязнения воды

Станция	Класс загрязнения											
	Cd	Fe	Hg	Cu	ИЗВ	МБ*	Cd	Fe	Hg	Cu	ИЗВ	МБ*
	Зима						Лето					
1 Эль-Микдадия	5	2	5	1	7	2	5	1	5	1	7	2
2 Абу-Саида	5	2	5	1	7	2	5	1	1	1	7	2
3 Баакуба	5	1	5	1	7	2	5	3	5	1	7	2
4 Бахри	5	1	5	1	7	3	5	2	5	1	7	3
5 Бани-Саад	5	2	5	1	7	3	5	2	5	1	7	3
6 Багдад	5	5	5	2	7	4	5	3	5	3	7	4
	1 – Чистые; 2– Умеренно загрязненные; 3– Загрязненные; 4- Грязные; 5 - Очень грязные; 6, 7 – Чрезвычайно грязные											

*МБ–Микробиологический показатель загрязнения воды (по числу сапрофитных бактерий). ** ИЗВ – индекс загрязнения воды.

Установлено преобладание тонких фракций осадка в пробах донных отложений в пойменных участках городских водотоков, что указывает на антропогенное участие в формировании донных отложений (рис. 2).

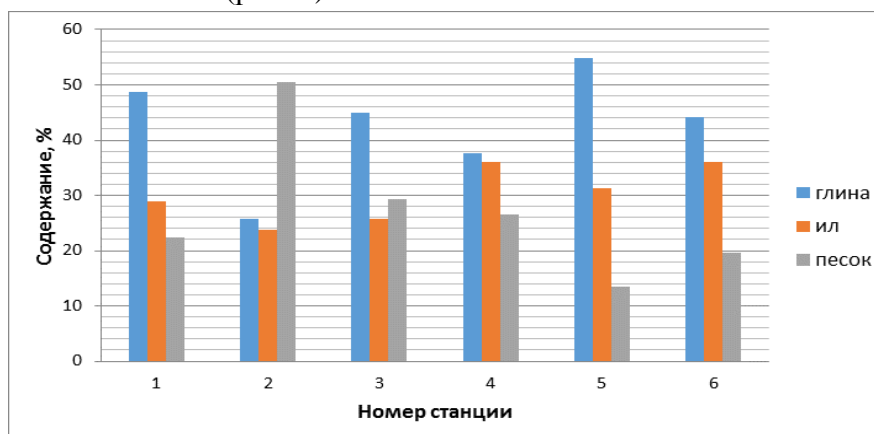


Рис. 2. Гранулометрический состав донных отложений

Коллекторами многих тяжелых металлов являются тонкие (алевритоглинистые) частицы, карбонатные и глинистые минералы. Содержания тяжелых металлов приведено в таблице 3.

Для интегральной оценки степени загрязненности донных отложений металлами использовали индексы гео-аккумуляции - I-geo, индекс качества донных отложений (SQC),

коэффициент донной аккумуляции КДА, а также индекс экологической опасности (RJ) донных отложений пресноводных экосистем при загрязнении металлами (таблица 4).

Согласно рассчитанным показателям индекса I-geo донные отложения характеризуются средней и умеренной степенью загрязнения по кадмию и ртути и отсутствием загрязнения по железу и меди. Индекс SQC также свидетельствует о среднем и умеренном загрязнении донных отложений. Величины коэффициента донной аккумуляции и индекса экологической опасности донных отложений, характеризующие хроническое загрязнение экосистемы (табл.4) указывают на низкую степень загрязнения донных отложений и о продолжительности периода негативного воздействия не более 10 лет.

Таблица 3. Содержания тяжелых металлов в донных отложениях реки Дияла, мг/кг

Станции	Кадмий		Железо		Ртуть		Медь	
	Зимний период	Летний период	Зимний период	Летний период	Зимний период	Летний период	Зимний период	Летний период
Эль-Микдадия	6,11	6,16	65,11	56,16	0,16	0,87	1,115	1,163
Абу-Саида	4,30	6,40	76,30	65,40	0,87	0,58	2,30	1,406
Баакуба	4,12	5,54	87,12	76,54	0,78	0,47	8,12	9,54
Бахри	3,17	8,65	87,17	84,65	0,17	0,87	13,17	12,65
Бани-Саад	7,11	7,52	76,11	67,52	0,11	0,52	5,11	6,52
Багдад	9,26	11,74	221,26	197,74	0,99	0,74	11,26	9,74

Таблица 4 Характеристика донных отложений на участках проведения исследований

Станция	Класс загрязнения							
	SQC		КДА	RJ	SQC		КДА	RJ
	Cd	Hg			Cd	Hg		
	Зима				Лето			
1 Эль-Микдадия	2	3	2	1	2	3	2	1
2 Абу-Саида	3	3	2	1	2	3	2	1
3 Баакуба	4	3	2	1	2	3	2	1
4 Бахри	2	3	2	2	3	3	2	2
5 Бани-Саад	3	3	2	2	3	3	2	2
6 Багдад	3	4	2	2	4	4	2	2
	1 – чистые; 2–низкая степень загрязнения; 3–средняя степень загрязнения; 4- умеренное загрязнение.							

Таблица 5 – Среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов в образцах прибрежной почвы исследуемых районов, мг/кг

Станция	Металлы				Характеристика загрязнения по Zc
	Хром	Медь	Кадмий	Железо	
Багдад (n=15)	14±4	290,0±60,0	2,3±0,4	18±3	Опасное
Бахри (n=15)	8,4±2,1	1,6±0,3	1,4±0,3	47±11	Умеренно опасное
Абу-Саида (n=15)	0,08±0,01	5,2±0,5	0,11±0,02	0,12±0,3	Допустимое
Эль-Микдадия (n=15)	0,1±0,01	4,7±0,7	0,16±0,02	0,13±0,2	Допустимое

Анализ результатов исследования подвижных форм металлов в пробах прибрежных почв показал, что по мере продвижения по направлению водотока от Эль-Микдадия до Багдада, загрязнение увеличивается (показатель Z_c , изменяется с «допустимого» до «опасного») (таблице 5).

Исследование состояния биоты прибрежных почв по состоянию микомицетов позволило выявить снижение разнообразия и, как следствие, уменьшение индекса разнообразия Шеннона (H). Индекс корреляции Спирмена между показателями загрязнения и экологическим индексом разнообразия Шеннона характеризует связь как слабую, умеренную или заметную (таблица 6). Это недостаточно для характеристики экологической ситуации.

Таблица 6 – Характеристика статистической связи загрязнения донных отложений и почвы с индексом разнообразия Шеннона на участках проведения исследований

Показатель	Класс загрязнения				
	SQC		КДА	RJ	Z_c
	Cd	Hg			
Коэффициент корреляции	0,20	0,40	0,20	0,35	0,65
Связь	Обратная	Обратная	Обратная	Обратная	Обратная
Теснота связи по шкале Чеддока	Слабая	Умеренная	Слабая	Умеренная	Заметная
Достоверность	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$

Для повышения точности характеристики экологической ситуации предложен метод интегральной оценки загрязнения почвы и донных отложений основанный на использовании предельного допустимого превышения (ПДП) вместо ПДК, а также учитывающий группу опасности загрязнителя.

Для расчета комплексного показателя предложена формула:

$$КП = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2}$$

Где КП – комплексный показатель загрязнения почвы; K_i – «нормированные» по ПДП концентрации веществ 1, и 3 группы опасности, «приведенные» к биологически эквивалентной характерной для 2-й группы опасности по коэффициентам биоизоэффективности.

$$K_i = C_i / ПДП_i$$

Согласно алгоритму расчета комплексного показателя загрязнения почвы осуществляется приведение «нормированных» по ПДП концентраций металлов различных групп опасности к таковым 2-й группы опасности по формулам

$$K_2 = K_1 \log 3^n \quad n = 2,90 \log K_1$$

$$K_2 = K_3 \log(3/4)^n \quad n = 1,05 \log K_3$$

Где K_2 – приведенная концентрация.

K_1, K_3 – значения нормированных концентраций металлов 1 и 3-ей группы опасности.

Коэффициент корреляции Спирмена КП донных отложений и экологического индекса разнообразия Шеннона характеризует связь как - 0,80 (связь по шкале Чеддока -

высокая, обратная достоверная ($p < 0,05$). Для КП почвы – как - 0,95 (связь по шкале Чеддока - высокая, обратная достоверная ($p < 0,05$)).

В главе также представлена математическая модель распространения загрязнителей в реке Дияла на основе двумерного моделирования с использованием модуля программы Floworks Simulation, где движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса. Система уравнений, используемая для моделирования, имеет следующий вид в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат $\mathbb{R}^3(x_i, i=1,2,3)$, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через ее начало:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} + \frac{d}{dx_k}(\rho u_k) &= 0 \\ \frac{d(\rho u_k)}{dt} + \frac{d}{dx_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{dP}{dx_i} &= S_i \\ \frac{d(\rho E)}{dt} + \frac{d}{dx_k}((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik}u_i) &= S_k u_k + Q_H \end{aligned}$$

Где t – время; u – скорость текучей среды; ρ – плотность текучей среды; P – давление текучей среды; S_i – внешние массовые силы, действующие на единичную массу текучей среды: $S_{iporous}$ – действие сопротивления пористого тела, $S_{igravity}$ – действие гравитации, $S_{irotation}$ – действие вращения системы координат, т.е. $S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation}$; E – полная энергия единичной массы текучей среды; Q_H – тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текучей среды; τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений; q_k – диффузионный тепловой поток. Нижние индексы означают суммирование по трем координатным направлениям.

Исходя из континуальной модели двухфазного течения, т.е. течения взаимопроникающих континуумов газовой фазы и частиц различных фракций, при попадании частиц на стенку определяется суммарная по всем поверхностям, на которые выпали частицы, интенсивность налипания частиц на эти поверхности по формуле:

$$R_{\Sigma accretion} = \sum_{i=1}^N M_{pi}$$

где N – число фракций частиц; M_{pi} – расход частиц i -той фракции, выпавших на эту поверхность.

Определяется также интенсивность уноса материала от стенок, на которые выпали частицы, по формуле:

$$R_{\Sigma erosion} = \sum_{i=1}^N \int_{M_{pi}} K_i \cdot V_{pi}^b \cdot f_{1i}(\alpha_{pi}) \cdot f_{2i}(d_{pi}) dm_{pi}$$

Где K_i – заданный коэффициент эрозии материала поверхности; V_{pi} – скорость частиц непосредственно перед соударением; b – заданный показатель степени; $f_{1i}(\alpha_{pi})$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние на эрозию угла α_{pi} подлета частиц к поверхности выпадения (относительно нормали к поверхности); $f_{2i}(d_{pi})$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние на эрозию диаметра d частиц.

Статистические расчеты показывают длину, которую пробежала каждая частица от каждой фракции до того, как ее поглотила стенка или она прошла всю реку. На основании полученных моделей распределения загрязнителей можно сделать вывод, что наибольшие их концентрации достигаются в извилистых частях русла реки (рис.3).

Математическая модель позволила определить точки, в которых целесообразно проводить наблюдение за качеством водной среды и донных отложений.

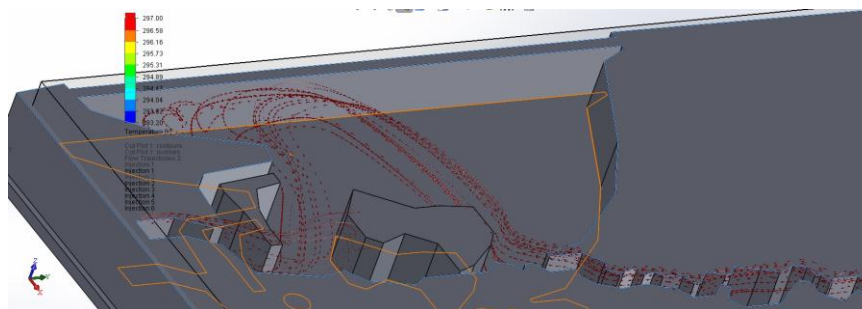


Рис. 3. Моделирование распределения загрязнителя в реке Дияла от всех станций

В главе пять «Рекомендации по улучшению геоэкологического состояния реки Дияла и внедрение природоохранных мероприятий» приведены результаты исследований методами биотестирования и биоремедиации с использованием тест-объекта карпа обыкновенного для определения особенностей аккумуляции в теле карпа тяжелых металлов (Pb, Cr, Cu). Согласно полученным результатам, выживаемость карпа составила 50% при концентрации свинца 55 мг/л и 0% при концентрации 75 мг/л при времени воздействия 96 часов. Для меди – 50% при концентрации 5 мг/л и времени воздействия 48 часов, 0% при концентрации 4 мг/л и времени воздействия 96 часов. Для хрома – 50% при концентрации 9 мг/л и времени воздействия 72 часа, при использовании концентрации 9 мг/л выживаемость составила 40 %. Для целей биоремедиации тяжелых металлов в водной среде использованы бактерии *Pseudomonas aeruginosa* у которых ранее была выявлена эффективность только по отношению к нефтепродуктам.

При исследовании эффективности биоремедиации в отношении хрома отмечено, что эффективность его удаления бактериями составила минимум 47% при содержании металла в воде 7 мг/л и максимум 61,3% при его изначальном содержании в воде 9 мг/л. Концентрация хрома по прошествии 96 часов в мышцах рыб снизилась с 0,0044 мг/л до 0,0017 мг/л. В воде концентрация хрома при разных его изначальных содержаниях (7, 8, 9 мг/л) снизилась на 19,8, 32,6 и 27% соответственно. При начальном содержании меди в воде 3 мг/л наблюдается максимальная степень удаления металла из воды – 32,45%. Снижение концентрации в мышцах карпа при концентрации в воде 4 мг/л составило 87%.

Следовательно, максимальное снижение концентраций металлов в мышцах рыб составил 87% для меди, 67,7% для хрома и 50% для свинца.

Установлена закономерность снижения воздействия тяжелых металлов на организм тест-объектов – рыб *Cyprinus Carpio* в присутствии в воде бактерий *Pseudomonas aeruginosa*. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования бактерий в качестве природных компонентов биоремедиации водоемов в связи с активным участием данного вида бактерий в биогеохимических процессах экосистемы реки.

На основе результатов исследования предложена принципиальная схема очистных сооружений у которых в аэротенках используют *Pseudomonas aeruginosa*.

По результатам исследований вода реки Дияла является критически загрязненной патогенными микроорганизмами, источником которых являются канализационные стоки. В связи с этим проведено изучение качества функционирования систем канализации на примере канализационных коллекторов эксплуатируемым более 50 лет.

При обследовании железобетонной конструкции на внутренних поверхностях обнаружены следующие типичные повреждения: трещины поперечной ориентации и продольной ориентации с выносами, преимущественно, продуктов коррозии бетона; трещины с выносами нерастворимых солей в виде новообразований бугристой формы; трещины по швам бетонирования ж/б рубашки, с выносами нерастворимых солей в виде новообразований бугристой формы; биокоррозия бетона; пятна пигментации; коррозия 1 и 2 типа.

Сравнительный анализ технологий ремонта канализационных коллекторов позволил обосновать использование ремонта спирально-навивочным методом, который позволяет осуществить санацию при наполнении трубопровода жидкостью до 40 % и скорости течения до 5 м/с.

Преимуществом навивочных технологий является то, что новая трубная конструкция после ремонта обладает устойчивостью к землетрясениям. Технологии обеспечивают получение достаточно гибкой трубы, которая не получает повреждения даже в том случае, если основной трубопровод неравномерно оседает во время динамического воздействия на него. При этом новая составная труба сохраняет структурную целостность и герметичность старого трубопровода.

Реализация спирально-навивочной бестраншейной технологии, позволяет решить ряд геоэкологических проблем городских поселений на территории в районе реки Дияла.

На основе модельного эксперимента показана эффективность алюмосиликатного сорбента «Петроглинт-10» при очистке сточных вод загрязненных соединениями тяжелых металлов.

ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов исследования и оценка результатов антропогенного воздействия на состояние реки Дияла по показателям загрязнения воды позволили установить превышения содержаний взвешенных веществ, показателей жесткости (более 12 мг-экв/л), щелочности (превышение показатели норматива ЕС в десятки раз), снижение концентрации растворенного кислорода, превышения показателей БПК₅ для станций Эль-Микдадия, Абу-Саидла, Баакуба в зимнее время и для станции Эль-Микдадия в летнее время. В воде р. Дияла содержание растворенного кислорода в два и более раз ниже, чем в реках Большой Заб, Евфрат и Шатт-Эль-Араб. Среднее значение БПК превышает норматив ВОЗ в летний период. Выявлено увеличение содержания кальция и магния, концентрации взвешенных веществ и степени микробиологического загрязнения вод реки Дияла по направлению вниз по течению реки. Среднее содержание взвешенных веществ превышает норматив ВОЗ более чем в 20 раз. Среднее содержание растворенных веществ в водах реки Дияла находится в пределах норматива ВОЗ, но на станции Багдад отмечены превышения, как в зимний, так и в летний период.

2. По результатам определения тяжелых металлов в воде р. Дияла выявлены значительные превышения ПДК для кадмия, ртути и меди. Для железа отмечены превышения нормативов на станции Эль-Микдадия в зимнее время и на станциях Баакуба, Бахри, Бани-Саад и Багдад в летнее время. Для всех изученных металлов (Fe, Cu, Hg, Cd) отмечены превышения экологических стандартов Ирака. В сравнении с другими реками Ирака, в воде р. Дияла отмечены более высокие значения Cd, Fe, Hg. Согласно индексу загрязнения тяжелыми металлами (НПИ), воды р. Дияла характеризуется сильным (по Fe) и очень сильным загрязнением (по Cd, Hg, Cu). Содержания металлов в р. Дияла

распределяются в порядке $Cd < Hg < Fe < Cu$, тогда как в отношении показателя НРІ порядок следующий: $Fe < Cu < Cd < Hg$. Полученные данные позволяют отметить, что вода реки Дияла не пригодна для жизнедеятельности водных организмов.

3. Результаты гранулометрического анализа донных отложений реки показали, что только на станции Абу-Саида в верхнем течении реки преобладает песчаная фракция, в остальных пунктах отбора проб преобладающей является глинистая фракция. Наибольшее число проб донных отложений с преобладанием тонких фракций осадка подтверждает представления о значительном влиянии антропогенной нагрузки на формирование гранулометрического состава донных отложений реки Дияла .

4. Анализ результатов исследования и оценка результатов антропогенного воздействия на состояние реки Дияла по показателям загрязнения донных отложений по величине индекс гео-аккумуляции I_{geo} , индекса качества донных отложений (SQC), коэффициента донной аккумуляции КДА, а также индекса экологической опасности (RJ) донных отложений пресноводных экосистем позволил установить, что донные отложения реки Дияла характеризуются средней и умеренной степенью загрязнения по кадмию и ртути и отсутствием загрязнения по железу и меди. Вместе с тем, интегральный показатель загрязнения Z_c прибрежных образцов почвы характеризует их в дельте водотока как «опасное».

5. Предложенный метод интегральной оценки почвы КП, показал высокую отрицательную достоверную связь с экологическим показателем разнообразия Шеннона за счет использования показателя предельного допустимого превышения вместо санитарно-гигиенического норматива ПДК и учета группы токсичности загрязнителя. Это позволяет использовать его в практике геоэкологических исследований.

6. Использование модуля программы Floworks Simulation для моделирования распространения загрязнителей по каждой из исследуемых станций по веществам: магний, кальций, нитраты, фосфаты, сульфаты, кислород, кадмий, железо, ртуть, медь позволило на основе полученной модели распределения загрязнителей выявить места их наибольших концентраций и определить координаты точек для организации мониторинга.

7. Результаты экспериментов показали эффективность биоремедиации водоема с помощью бактерий *Pseudomonas aeruginosa* в отношении тяжелых металлов. Максимальное снижение концентраций металлов в биологических тест-объектах составил 87% для меди, 67,7% для хрома и 50% для свинца.

8. Обоснованы приоритетные природоохранные мероприятия для реки Дияла включающие разработку программы локального мониторинга, санацию канализационных коллекторов спирально-навивочной бестраншейной технологией, использование в очистных сооружениях алюмо-силикатных сорбентов и штаммов бактерий *Pseudomonas aeruginosa*.

9 . Разработана схема и алгоритм проведения локального мониторинга геоэкологической ситуации на примере водотока Дияла.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Организовать мониторинг поверхностных вод и донных отложений р. Дияла в точках определенных на основе математического моделирования распространения загрязнителей и в соответствии с программой регламентирующей сроки и объем исследования.

Включить в программу обработки и анализа результатов мониторинга интегральные показатели для характеристики загрязнения воды объекта и его донных отложений (таблица 9).

Использовать для определения приоритетности природоохранных мероприятий предложенный алгоритм оценки результатов исследования.

Включить в перечень приоритетных природоохранных мероприятий санацию и ремонт канализационных коллекторов спирально-навивочную бестраншейную технологию, использование в очистных сооружениях эффективных алюмосиликатных сорбентов и эффективных в процессе биремедиации штаммов бактерий *Pseudomonas aeruginosa*.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

В изданиях рекомендованных ВАК

1. Аль маджмаи Салих сауд якуб Внедрение природоохранных мероприятий для улучшения геоэкологического состояния реки Дияла /Аль маджмаи Салих сауд якуб// Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки». – 2017г. – №2. – Т. 4. – С. 45-48.

2. Аль маджмаи Салих сауд якуб Использование метода трехмерного математического моделирования в практике геоэкологических исследований/ Аль маджмаи Салих сауд якуб, О.И. Копытенкова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. - №3. - Т. 8.

3. Аль маджмаи Салих сауд якуб Изучение геоэкологических проблем в районе расположения реки Дияла (ИРАК)/ Аль маджмаи Салих сауд якуб // Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки». – 2016г. -№ 5. Т. 3. – С. 28-30.

В других печатных изданиях

4. Аль маджмаи Салих сауд якуб Геоэкологические проблемы реки Дияла (ИРАК) / Аль маджмаи Салих сауд якуб // XI международная научно-практическая конференция «Молодой ученый: вызовы и перспективы». -2016. -№9(11). –С. 226-230.

5. Аль маджмаи Салих сауд якуб Опыт решения геоэкологических проблем жилищно-коммунального комплекса/ Аль маджмаи Салих сауд якуб, О.И.Копытенкова // Сборник материалов III Всероссийской заочной научно-практической конференции посвященной 85-летию з.д.н. РФ, академика РАЕН, профессора Г.В. Селюжицкого с международным участием «Актуальные вопросы гигиены». – С. 22-25.

6. Аль маджмаи Салих сауд якуб Метод решения геоэкологических проблем жилищно-коммунальных комплексов в районе р.Дияла (ИРАК)/ Аль маджмаи Салих сауд якуб, О.И.Копытенкова// XXXIV Международная научно-практическая интернет-конференция «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах Европы и Азии». – 2017. - С. 22-24.

7. Аль маджмаи Салих сауд якуб Решение геоэкологических проблем реки Дияла в зоне влияния жилищно-коммунальных комплексов/ Аль маджмаи Салих сауд якуб // Периодический научный сборник «Современные тенденции развития науки и технологий». – 2017. - №2.- часть 1. –С. 108 -111.

Подписано к печати

13.06.2017 г.

Печ.л.1,0

Печать – ризография.

Бумага для множит.апп.

Формат 60x84 1/16

Тираж 100 экз.

Отпечатано в КЦ «Сенная площадь» 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, (БЦ Садовая40)