

ГАРАЩУК Дарья Юрьевна

**САМОРЕГУЛЯЦИЯ И САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ
МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
(РЕКА ИВАНОВКА, ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН РЕКИ АМУР)**

03.02.08 – Экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Петропавловск-Камчатский, 2019

Работа выполнена на кафедре «Экология и природопользование»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Камчатский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Научный руководитель:

Сандакова Светлана Линхоевна
доктор биологических наук, доцент,
начальник испытательной лаборатории
ГБУ АО «Амурская облветлаборатория»

Официальные оппоненты:

Христофорова Надежда Константиновна
доктор биологических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
кафедра ЮНЕСКО по морской экологии
ФГАОУ ВО «Дальневосточный
федеральный университет»

Юрченко Светлана Григорьевна
кандидат географических наук,
ФГБУН Тихоокеанский институт географии
ДВО РАН,
лаборатория геохимии,
научный сотрудник

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Российский государственный
педагогический университет
имени А. И. Герцена», г. Санкт-Петербург

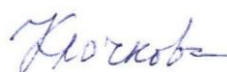
Защита диссертации состоится 14 июня 2019 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 307.008.01 в ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет» по адресу: г. Петропавловск-Камчатский, ул. Виллюйская, д. 56.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35. КамчатГТУ. Диссертационный совет Д 307.008.01.
Факс, электронный адрес: (4152)42-05-01, e-mail: oni@kamchatgtu.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» (<https://www.kamchatgtu.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор биологических наук



Ключкова Татьяна Андреевна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования и степень разработанности выбранной темы.

Небольшие реки, как специфические типы водотоков, обладают рядом свойств, обеспечивающих устойчивость их экосистем. Факторами, способствующими самоочистке реки, являются особенности климата, характер донных грунтов и береговых почв, форма русла с обилием меандров, биохимические процессы, обусловленные сезоном года, комплексом микроорганизмов и динамикой их сообщества. Региональные экологические условия и природная специфика водотоков в комплексе обуславливают различия и дают возможность сравнивать степень устойчивости экосистем разных малых рек к антропогенному загрязнению.

Исследованию экологии малых рек посвящено достаточно большое количество работ, в которых рассматривается ряд гидрохимических и гидробиологических показателей, основными из которых являются содержание биогенных элементов, органического вещества, концентрации тяжелых металлов (Авакян, Воропаев, 1986; Авакян и др., 1987; Бреховских, 1988; Христофорова и др., 2002, 2015; Кононов, 2007; Шестеркин, 2015; Шестеркин, Шестеркина, 2012, 2014; Шестеркин и др., 2013; Фишер и др., 2015; Гаретова, 2008; Гаретова и др., 2016). Однако факторы, поддерживающие нормальное состояние экосистем малых рек, раскрыты в них недостаточно подробно.

Амурская область обладает значительными ресурсами поверхностных и подземных вод. По территории области протекает 2628 рек протяженностью более 10 км, в том числе 31 река протяженностью более 200 км и более 41 тыс. рек и ручьев длиной до 10 км (Экологическая ситуация..., 2006). Одной из рек Амурской области является малая р. Ивановка, относящаяся к северо-западной части водосборного бассейна р. Амур. На протяжении всего времени своего существования эта река претерпела множество изменений. Она образовалась из некогда полноводной континентальной реки, русло которой менялось. Так, появлялись протоки, отчленялись рукава, накапливались донные отложения. Сегодня она расположена на территории сельскохозяйственного природопользования с каскадом водохранилищ, комплексом животноводческого и аграрного производства, рядом населенных пунктов со всей инфраструктурой вдоль ее берегов (с. Романовка, Екатеринославка, Анновка, Усть-Ивановка и Черемхово), а также добывающей промышленности (Ерковецкий угольный разрез). Несмотря на антропогенное и техногенное загрязнение, речная экосистема сформировала комплекс механизмов саморегуляции, который, как оказалось, обладает достаточно большим запасом прочности. Река Ивановка продолжает оставаться важным звеном в сохранении экосистемы в северо-западном бассейне р. Амур и является живой водной артерией, обеспечивающей большой регион в Зейско-Буреинской равнине пресной водой.

Цель работы – выявление факторов, обеспечивающих саморегуляцию и самовосстановление экосистемы р. Ивановка (водосборный бассейн р. Амур), испытывающей антропогенное загрязнение, на основе анализа гидрохимических показателей и динамики численности эколого-трофических групп микроорганизмов.

Для достижения цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить межгодовую динамику содержания растворенного кислорода, органических соединений, основных биогенных элементов N, P, Fe, Mn в р. Ивановка.
2. Изучить численность микроорганизмов основных эколого-трофических групп в микробном сообществе реки, а также ее зависимость от климатических факторов и количества органического вещества в реке.
3. Выявить корреляционную зависимость между химическими и микробиологическими показателями, как составляющими взаимозависимой системы самоочистки и саморегуляции речной экосистемы.
4. Оценить современное экологическое состояние р. Ивановка и способность ее экосистемы к саморегуляции и самовосстановлению.

Научная новизна. Впервые проведен анализ гидрохимических показателей и численности эколого-трофических групп микроорганизмов р. Ивановка (северо-западная часть водосборного бассейна р. Амур). Определены изменения концентраций органических и неорганических соединений, в частности биогенных элементов в воде. Выявлена численность эколого-трофических групп микроорганизмов, как компонентов биологической системы, имеющих важную функцию в обеспечении устойчивости реки. Показана корреляционная зависимость между температурными, химическими и микробиологическими показателями в специфических природно-климатических условиях Амурской области. Впервые определено антропогенное влияние на отдельные участки реки, вызванное загрязнением, поступающим со сточными водами сел, сельскохозяйственных комплексов и Ерковецкого угольного разреза.

Теоретическая и практическая значимость работы. Исследование экологического состояния малых рек позволяет понять закономерности взаимодействия природных и антропогенных компонентов водной экосистемы и дать научно-обоснованную оценку возможности сохранения биоразнообразия речных экосистем. Изучение механизмов природной регуляции среды позволяет наиболее полно оценить устойчивость экосистем малых рек. Результаты исследования могут найти применение при оценке и анализе речных экосистем, а также при решении вопросов, связанных с контролем качества и охраны окружающей среды и предотвращения загрязнения поверхностных вод. Полученные результаты могут быть использованы при обучении студентов общепрофессиональных направлений и в профессиональной подготовке узких специалистов естественно-научного профиля, могут способствовать принятию грамотных решений администрации местных поселений, экологических надзорных органов Амурской области, а также использоваться в программах экологического воспитания и СМИ.

Методология и методы диссертационного исследования. Теоретическую основу диссертационной работы составили труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные вопросам экологического состояния малых рек. Были изучены химико-экологический, физический и микробиологический показатели поверхностных вод в р. Ивановка. Для статистической обработки результатов для каждого участка реки рассчитывали среднее арифметическое значение и стандартные отклонения по выборке. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовали методику полного факторного эксперимента. В ходе исследований были проведены полные факторные эксперименты и исследование функции методом наименьших квадратов, решена компромиссная задача для двух уравнений регрессии. Данные обрабатывали в компьютерных программах «Sigma Plotv.11.0» и «Компас 3DV14».

Положения, выносимые на защиту:

1. Отклонения от нормы на отдельных участках реки происходят из-за количества образующегося автохтонного органического вещества, а также могут быть вызваны поступлением аллохтонного органического вещества со стоками, объемы которого зависят от масштабов и специфики хозяйственной деятельности на водосборном участке.

2. Высокое содержание определяющего биогенного элемента (N, P) в р. Ивановка не всегда сопровождается всплеском численности окисляющих сапрофитных гетеротрофных бактерий – аммоний-, нитрит-, фосфороксилирующих.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечивается большим объемом обработанного полевого материала, собранного соискателем за 3 года на семи участках реки в пяти постоянных точках. Каждую пробу анализировали 3–5 раз. Используемые в работе методы являются общепринятыми для исследования вод речных экосистем. Полученные результаты обработаны с помощью современных программ статистической обработки данных, оформлены в виде научных статей, получивших экспертную оценку специалистов в области гидрологии, экологии и микробиологии. При публикации в рецензируемых научных изданиях полученные данные сравнивали с опубликованными данными по другим рекам Палеарктики.

Личный вклад автора. Автор лично участвовала в отборе и проведении анализов проб речной воды р. Ивановка (Благовещенский, Ивановский, Октябрьский районы), осуществляла статистическую обработку данных и их интерпретацию. Большинство опубликованных по теме диссертации статей и тезисов докладов научных конференций автор подготовила самостоятельно, отдельные работы были написаны при участии других соавторов. Автор определила цель и задачи исследования, обобщила и проанализировала полученные результаты, сформулировала выводы.

Апробация результатов. Результаты исследования были представлены и обсуждены на 8 международных и региональных научно-практических конференциях: I Международной научно-практической конференции «Экология и современное общество» (Чебоксары, 2013); XIV Региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века: шаг в будущее» (Благовещенск, 2013); III Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием «Экологическое образование на современном этапе для устойчивого развития» (Благовещенск, 2013); V Всероссийской конференции «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата» (Хабаровск, 2014); VIII Международном форуме «Охрана и рациональное использование лесных ресурсов» (Благовещенск, 2015); III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и технологии полимерных материалов» (Санкт-Петербург, 2015); II Региональной научно-практической конференции городских учреждений и предприятий Амурской области «Экология города» (Благовещенск, 2018); X Международной научно-практической конференции «European Scientific Conference» (Пенза, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 8 тезисов и материалов докладов на научных конференциях.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 144 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы, включает 16 рисунков, 11 таблиц, 22 приложения. Список литературы включает 209 публикаций, из них 25 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность за помощь, поддержку и ценные советы при подготовке диссертационной работы научному руководителю д.б.н. С.Л. Сандаковой. Также выражаю глубокую благодарность за ценные рекомендации д.б.н. Л.С. Бузولةвой (ФГБУ «НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова») и к.б.н. Е.Н. Черновой (ТИГ ДВО РАН). Выражаю благодарность сотрудникам кафедры «Химия» и «Экология, почвоведение и агрохимия» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ за оказанную помощь на разных этапах выполнения работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** приведен обзор литературы по теме диссертации. В **разделе 1.1** дано описание значения и классификации малых рек. В **разделе 1.2** представлена характеристика природных факторов. В **разделе 1.3** представлена характеристика антропогенных факторов, которые влияют на качество вод, внося изменения в сезонную динамику речной экосистемы.

В **главе 2** приводится физико-географическая характеристика района исследования (среднее Приамурье), состояние погодно-климатических условий в годы проведения наблюдений (2011–2013 гг.), представлены основные типы почв и геохимические особенности состава природных вод. Изученная автором р. Ивановка является левым притоком р. Зея, крупного левого притока р. Амур. Это долинная река с медленным течением, длиной 176 км и площадью водосбора 2710 км². Пойма реки представляет собой обширные луга на аллювиальных почвах. Местами береговые участки заболочены. Растительность представлена луговыми комплексами и небольшими участками белоберезовых лесов. Основные почвы в этом районе лугово-черноземовидные, лугово-болотные, лугово-глеевые, бурые лесные и аллювиальные. Все эти почвы богаты

микроэлементами, легко смываются и способствуют обильному образованию осадков в реке (рис. 1).

В главе 3 приводится описание материалов и методов исследования. Химико-экологические, физические и микробиологические показатели поверхностных вод в р. Ивановка изучали в течение теплого периода года с момента схода льда на реках, т.е. с 1 декады мая до конца июня, весь июль и с начала августа до 3 декады сентября (начало, середина и конец гидрологического лета, обозначенные по тексту римскими цифрами – этапы I, II, III, с 2011 по 2013 гг.). Автором было отобрано 524 пробы речной воды и выполнено 2772 гидрохимических определения. Для характеристики речных вод определяли 11 элементов. Отбор проб проводили пробоотборником, определение химических показателей выполняли по общепринятым гидрохимическим методам согласно ГОСТу Р 51592-2000. Измеряли температуру поверхностного слоя воды. Вода отбиралась из поверхностного слоя с глубины 0,5 м. Отбор проб для микробиологического анализа производили одновременно с гидрохимическим опробованием из поверхностного слоя воды в стерильные пластиковые шприцы объемом 20 мл. Пробы анализировали непосредственно после доставки в лабораторию ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» (г. Благовещенск). Результаты гидрохимических анализов сравнивали с экологическими и культурно-бытовыми нормативами для поверхностных вод.

Забор воды осуществляли на семи участках реки; на каждом из них для обеспечения достоверности результатов исследовалось 5 постоянных мест отбора проб. Все выделенные участки реки представляют собой отдельные, различающиеся по характеристикам водной среды объекты.

1 участок – исток реки, водохранилище (введено в эксплуатацию в 1987 г.), расположенное на расстоянии 1,7 км на юго-восток от с. Романовки на пади Пиколовской. На этом участке реки антропогенная нагрузка минимальная. Данный участок можно считать фоновым для анализа качества вод и сопоставления результатов.

2 участок – р. Ивановка в пределах пос. Екатеринославка. В этом районе проходят автотрасса и железнодорожная магистраль. Вблизи данного участка реки расположены пастбища.

3 участок – р. Ивановка в районе с. Анновка, выше водохранилища. Русло узкое, мелкое, водосборная площадь облесена.

4 участок – водохранилище, введено в эксплуатацию в 1972 г., расположено в 1,5 км на восток от с. Анновка, в пади Зуева. Источником загрязнения являются сбросы дренажных вод Ерковецкого угольного разреза, а также стоки с полей и пастбищ.

5 участок – место стока воды из водохранилища в р. Ивановка. Наблюдается заиление и заболачивание берегов.

6 участок – р. Ивановка в районе с. Анновка (ниже сброса воды из водохранилища). На качество воды влияют расположенные рядом пастбища, которые используются местными жителями для выпаса крупного рогатого скота (КРС). В водах реки на этом участке присутствуют как взвешенные частицы загрязнения от Ерковецкого угольного разреза, так и растворенные.

7 участок – устье р. Ивановка, русло реки широкое, глубокое, по береговой линии наблюдается лесистость. Фактическое использование данного участка реки – рекреация, любительское рыболовство.

Гидрохимические исследования. Содержание веществ в воде реки определяли аналитическими методами: активную реакцию среды – методом прямой потенциометрии, содержание органических веществ – титриметрическими методами по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅), перманганатной окисляемости (ПО), бихроматной окисляемости (ХПК). Содержание растворенного кислорода определяли скляночным методом Винклера, аммиак и ионы аммония – фотоколориметрическим методом с реактивом Несслера, нитритный азот – с реактивом Грисса, нитраты – с салицилатом натрия. Содержание ортофосфатов определяли фотоколориметрическим методом Морфии-Райли,

трехвалентное железо – реакцией с тиоцианатом, марганец – спектрофотометрическим методом на приборе LEKI SS 2107UV г. Санкт-Петербург (Романенко, Кузнецов, 1970; Лурье, 1973; Методы химического..., 1980; Руководство..., 1980; Кузнецов, Дубинин, 1989).



Рисунок 1 – Карта-схема бассейна р. Ивановка (северо-запад бассейна р. Амур) и места отбора проб воды (отмечены цифрами 1–7)

Биоиндикационные (микробиологические) исследования. В качестве индикатора загрязнения вод использовали показатель общей численности сапрофитных гетеротрофных бактерий. Высев на питательные среды осуществляли методом предельных разведений с последующим пересчетом на 1 мл воды. Учет вероятной численности гетеротрофной микрофлоры проводили на жидкой питательной среде Йошимицу-Кимура (Youchimizu, Kimura, 1976). Для выявления аммонийокисляющих и нитритокисляющих бактерий использовали жидкие среды Сориано и Уокера, Уотсона и Менделя. Для определения численности микроорганизмов, окисляющих соединения фосфора, использовали среду Пиковской (Большой практикум..., 1962). Посев осуществляли методом Коха в трех повторностях.

Для статистической обработки результатов для каждого участка реки рассчитывали среднее арифметическое значение и стандартные отклонения по выборке. Были проведены полные факторные эксперименты, исследование функции методом наименьших квадратов и решена компромиссная задача для двух уравнений регрессии. Поиск компромиссных значений осуществлялся при помощи программ «SigmaPlotv.11.0» и «Компас 3DV14».

В главе 4 обсуждаются химико-экологические факторы и их роль в самовосстановлении и саморегуляции воды р. Ивановка. Представлен анализ результатов определения гидрохимических показателей (рН, содержание O_2 , БПК₅, ХПК, величины ПО, концентрации основных биогенных элементов N, P, Fe, Mn). В разделе 4.1 обсуждается активная реакция среды, как лимитирующий фактор жизнедеятельности водных микроорганизмов.

Во все годы исследования на этапе I гидрологического лета величина водородного показателя рН в воде реки в районе ее истока соответствовала норме и составляла 7,2–7,8. В 2011 г. этап II вегетационного периода был жарким и сухим, осадков было мало, поэтому в водохранилище рН воды увеличился до 8,3 за счет развития водорослей. В 2012 г. осадков выпало в 1,7 раза больше нормы, рН воды составил 7,4. Такое значение рН оставалось и до конца этапа III (табл. 1).

В 2011–2012 гг. в воде на участках 2, 3, 6 в течение всего летнего вегетационного периода величина водородного показателя соответствовала норме 7,4–9,0. Прогрессирование процессов эвтрофикации было наиболее заметно на участках 4 и 5. Это вызвало повышение норматива в 1,4 раза, и диапазон рН составил 8,9–9,9. В районе устья реки величина рН находилась в пределах нормы (7,6–8,0).

Щелочная активная реакция среды является показателем течения восстановительного процесса и недостатка кислорода. В отдельные годы, например в 2012 г., наблюдалось снижение данного показателя на всех участках реки (реакция водной среды приближалась к нейтральной), что связано с более обильным выпадением осадков и ослаблением фотосинтеза. В 2013 г. на участках реки 1, 2, 3, 6, 7 нарушений норматива не было, величина рН находилась в диапазоне 6,5–7,9. Наибольшее значение рН 8,9–9,9 отмечалось на участках 4 и 5, что свидетельствовало о неудовлетворительном экологическом состоянии воды в водохранилище и в месте сброса воды из водохранилища в реку.

Таблица 1

Активная реакция среды в р. Ивановка в течение 2011–2013 гг. (n = 3)

Место отбора проб	Вегетационный период		
	I	II	III
Участок 1	7,6±0,20	7,6±0,36	8,0±0,41
Участок 2	7,6±0,32	7,4±0,07	7,7±0,41
Участок 3	7,5±0,38	7,6±0,70	7,6±0,27
Участок 4	8,9±0,66	9,4±0,51	9,7±0,40
Участок 5	9,0±0,93	9,9±0,45	9,7±0,44
Участок 6	7,5±0,41	8,0±0,27	7,6±0,23
Участок 7	7,8±0,40	8,1±0,25	7,8±0,37

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

Изменение активной реакции в щелочную сторону связано с активным цветением воды при высокой температуре. С момента схода льда, когда реакция среды максимально приближена к нейтральной, она постепенно меняется в сторону щелочной и достигает пика ко второй, третьей декадах июля. На этапе постепенного завершения вегетационного периода реакция среды восстанавливается, возвращаясь к нейтральной. При всех кислых поверхностных смывах органики с объектов окружающей среды (почвенные смывы, удобрения с полей, стоки животноводческих ферм) реакция среды вод р. Ивановка находилась в пределах нормы (рН 7,5–8,1). Поэтому мы полагаем, что объемы поверхностных смывов в целом невелики и не имеют определяющего значения.

За 3 года исследований наибольшие колебания рН были отмечены в районе водохранилища, что свидетельствует об его неудовлетворительном экологическом состоянии в районе с. Анновка из-за поступления поверхностных смывов с сельскохозяйственных угодий и Ерковецкого угольного разреза. На остальных участках реки, в том числе ниже участков 4 и 5, значения водородного показателя не выходили за пределы нормы. Таким образом, несмотря на поступления различных веществ с водосбора, а также на антропогенное загрязнение, экосистема р. Ивановка способна справляться с антропогенной нагрузкой.

В разделе 4.2 обсуждается изменение содержания растворенного кислорода и органических веществ в р. Ивановка, поскольку этот параметр отражает способность природных водных объектов к самоочищению. В соответствии с гигиеническими требованиями к поверхностным водам хозяйственно-бытового, рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест (СанПиН 2.1.5.980-00), содержание растворенного кислорода в них не должно быть ниже 4 мг О₂/л в любой период года.

За время наших наблюдений в 2011 г. в течение всего гидрологического лета концентрация растворенного кислорода была ниже нормы на 2 и 7 участках реки (3,2–3,8 мг

O₂/л). На остальных участках реки содержание растворенного кислорода соответствовало нормативу (4,5–6,7 мг O₂/л). На этапе I вегетационного периода 2012 г. на всех участках реки содержание растворенного кислорода в воде составило 4,7–7,3 мг O₂/л. Минимальное содержание растворенного кислорода было зафиксировано на 4 участке (4,7 мг O₂/л) и на 6 участке реки (5,0 мг O₂/л). По-видимому, это связано с тем, что в среднем и нижнем течении реки в нее поступает большое количество загрязненной органическими веществами воды, с последующим цветением потребляющих кислород гетеротрофных микроорганизмов. К концу этапа III вегетационного периода количество осадков составило 30% от среднего многолетнего, содержание растворенного в воде кислорода на всех участках реки пришло в норму.

В течение всего гидрологического лета 2013 г. минимальное содержание растворенного кислорода было отмечено на участках 3, 6, 7 и составило 1,7–5,0 мг O₂/л, что в 2,4 раза ниже нормы. На этапе I вегетационного периода 2013 г. наиболее высокое его содержание было зафиксировано на 1 участке – 9,9 мг O₂/л. На этапе II на участках 1, 2, 4, 5 содержание растворенного кислорода было в пределах нормы. Для этапа III на участках 4, 5 также наблюдались высокие показатели растворенного кислорода (8,9–9,8 мг O₂/л). На остальных участках реки в течение третьего периода этот показатель был ниже нормы (табл. 2).

Таблица 2

Содержание растворенного кислорода в воде р. Ивановка, мг O₂/л (в числителе) и процент насыщения воды кислородом (в знаменателе) (n = 3)

Место отбора проб	2011 г.			2012 г.		2013 г.		
	Вегетационный период							
	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	<u>4.6±0.8</u> 51,0	<u>6.5±0.9</u> 70,6	<u>7.2±1.1</u> 80,0	<u>7.5±0.8</u> 85,1	<u>5.1±0.5</u> 54,4	<u>9.9±1.6</u> 107,5	<u>4.5±0.2</u> 51,0	<u>3.3±0.3</u> 35,3
Участок 2	<u>3.4±0.6</u> 37,7	<u>4.3±0.4</u> 46,7	<u>6.3±0.7</u> 69,8	<u>6.5±0.4</u> 74,0	<u>7.7±0.7</u> 82,1	<u>6.2±1.0</u> 67,3	<u>4.7±0.6</u> 53,3	<u>3.1±0.3</u> 33,1
Участок 3	<u>4.8±0.7</u> 53,2	<u>5.2±0.8</u> 56,5	<u>7.2±0.6</u> 79,8	<u>5.8±0.6</u> 65,8	<u>10.4±0.9</u> 110,9	<u>2.9±0.6</u> 31,5	<u>3.6±0.4</u> 40,8	<u>1.7±0.7</u> 18,2
Участок 4	<u>6.6±0.5</u> 73,2	<u>6.7±1.1</u> 72,7	<u>4.7±0.5</u> 52,1	<u>5.5±0.7</u> 62,4	<u>6.3±1.7</u> 67,2	<u>6.8±1.2</u> 73,8	<u>4.5±0.9</u> 51,0	<u>9.8±1.4</u> 104,7
Участок 5	<u>6.6±0.6</u> 73,2	<u>5.8±0.4</u> 63,0	<u>7.3±0.9</u> 81,0	<u>7.8±0.7</u> 88,5	<u>9.8±1.3</u> 104,5	<u>7.6±1.1</u> 82,5	<u>6.2±0.3</u> 70,3	<u>8.9±0.8</u> 95,1
Участок 6	<u>5.8±0.9</u> 64,3	<u>4.5±0.4</u> 48,9	<u>7.2±0.6</u> 80,0	<u>5.0±0.9</u> 56,8	<u>7.7±0.2</u> 82,1	<u>2.8±0.6</u> 30,4	<u>4.3±0.5</u> 48,8	<u>2.3±0.1</u> 24,6
Участок 7	<u>3.2±0.6</u> 35,5	<u>3.8±0.6</u> 41,3	<u>5.8±0.6</u> 64,3	<u>6.2±0.4</u> 70,4	<u>5.0±0.7</u> 53,3	<u>5.0±1.0</u> 54,3	<u>2.1±0.1</u> 23,8	<u>2.0±0.1</u> 21,4
Норматив (СанПин 2.1.5.980-00)					не менее 4			

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

В целом, за все 3 года исследований содержание растворенного кислорода преимущественно соответствовало экологическому нормативу, за исключением 2013 г. В период наводнения отмечалось низкое значение этого показателя, за исключением района водохранилища (с. Анновка).

Зависимость интенсивности фотосинтеза от освещения и температуры создает в водных объектах периодические сезонные и суточные колебания содержания кислорода. Как сильный окислитель кислород играет важную санитарно-гигиеническую роль, способствуя быстрой минерализации органических остатков. Биохимическое потребление кислорода в течение 5 суток (БПК₅) является интегральным показателем наличия в воде легко окисляемых органических веществ.

В 2011 г. в течение всего вегетационного лета превышение нормативов по БПК₅ отмечали в пробах воды на 4, 5, 6 участках реки (табл. 3). Согласно СанПину 2.1.5.980-00,

такая вода относится к классу «грязные». На остальных участках реки вода соответствовала классу качества «чистая», «умеренно загрязненная», «загрязненная». Максимальные значения БПК₅ были зафиксированы в 2013 г. (4,5–9,9 мг О₂/л) на 1, 4, 5 участках реки. Очевидно, высокие показатели БПК₅ были связаны с поверхностным смывом с прилегающих сельскохозяйственных территорий, что вызвано наводнением и влиянием Еркевецкого угольного разреза.

Таблица 3

Биохимическое потребление кислорода в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг. (мг О₂/л)

Место отбора проб	2011 г.		2012 г.			2013 г.		
	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	2,6±0,26	3,0±0,57	3,7±1,17	2,5±0,28	0,8±0,19	9,9±3,34	4,5±0,61	3,3±0,51
Участок 2	1,5±0,11	2,5±0,54	3,0±1,51	1,8±0,31	2,1±0,48	6,2±2,87	4,7±1,32	3,1±0,20
Участок 3	1,9±0,23	3,2±0,48	1,3±0,98	1,8±0,34	3,9±0,42	2,9±1,63	3,6±0,77	1,7±0,19
Участок 4	4,4±0,41	4,5±1,03	1,0±0,29	4,6±0,41	6,1±1,61	6,8±1,54	4,5±0,44	9,8±2,21
Участок 5	5,2±1,33	4,6±1,17	1,1±0,38	4,2±1,29	5,9±1,52	7,6±2,87	6,2±1,63	8,9±2,45
Участок 6	8,3±2,79	3,2±0,91	1,3±0,26	1,1±0,44	3,3±1,02	2,8±0,62	4,3±1,46	2,3±0,77
Участок 7	0,5±0,12	2,2±0,33	1,0±0,26	1,8±0,37	0,8±0,22	5,0±1,33	2,1±0,58	2,0±0,26
Норматив	4,0 мг О ₂ /л*							

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

* (СанПин 2.1.5.980-00).

Перманганатная окисляемость (ПО) свидетельствует о наличии в природных водах органических и некоторых легкоокисляющихся неорганических примесей. На всех участках р. Ивановка в течение всего времени исследования значения ПО превышали норматив в 1,1–3,4 раза. В 2011–2012 гг. максимальные значения ПО были зафиксированы на этапе II на всех участках реки (8,1–7,4 мг О₂/л), что было выше нормы в 1,6–3,5 раза. Показатели ПО уменьшились лишь к этапу III и составили 5,8–16,8 мг О₂/л, что было выше нормы в 1,2–3,4 раза. В 2013 г. наибольшее содержание органических веществ наблюдалось на этапе II на всех участках реки (13,0–19,7 мг О₂/л), что было обусловлено завершением цветения водоема. Превышение нормы ПО на отдельных участках реки, отличающихся небольшой глубиной и медленным течением, было отмечено в засушливые годы с высокими температурами. Поскольку эти участки были расположены разрозненно и разделены участками, где показатели были в норме, мы полагаем, что в целом эти отклонения не наносят большого вреда на обитателей реки.

Таблица 4

Определение загрязненности по перманганатной окисляемости в р. Ивановка в 2011–2013 гг. (n = 3)

Место отбора проб	2011 г.			2012 г.			2013 г.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	11,0±3,72	14,1±3,16	11,2±2,85	12,7±4,11	17,4±3,37	15,7±2,21	16,0±3,66	19,7±3,22	10,1±3,09
Участок 2	8,3±2,46	16,3±2,59	5,8±1,34	8,8±2,62	8,7±2,25	10,0±2,17	18,1±2,54	13,4±4,06	9,9±2,08
Участок 3	5,5±1,93	12,6±4,40	10,6±4,49	5,8±3,00	8,1±3,84	16,8±3,59	15,6±2,08	14,6±3,48	10,1±3,44
Участок 4	7,1±2,28	11,5±4,11	10,7±3,17	5,0±1,15	14,6±2,86	8,8±4,01	5,8±3,41	13,0±3,41	7,0±2,58
Участок 5	4,7±2,12	17,2±4,36	10,6±3,20	6,1±3,17	15,5±3,99	8,8±3,33	5,2±2,47	16,1±2,29	6,6±2,72
Участок 6	5,6±1,78	13,9±5,77	7,9±3,11	5,8±1,79	10,8±5,31	11,0±1,09	15,4±2,60	14,6±5,17	9,6±2,85
Участок 7	8,1±3,09	10,8±3,29	8,2±1,51	6,0±3,11	9,4±2,19	13,0±2,19	12,1±3,11	15,1±3,11	10,1±2,68
Норматив	5,0 мг О ₂ /л*								

Наиболее полно отражает сезонную динамику поступления и содержания органических веществ бихроматная окисляемость (ХПК). Максимальные значения ХПК в I и II периоды исследования в 2012–2013 гг. отмечались на всех отрезках реки, кроме 3 и 7 участков. Превышение гигиенического норматива составило 1,1–3,7 раза, рекреационного – 1,1 раза. К третьему периоду данный показатель стабилизировался и приходил в норму на всех участках реки, за исключением 1-го, где гигиенический норматив был превышен в 1,6 раза (рис. 2). В 2012 г. на всех участках содержание химического потребления кислорода в воде либо находилось в норме, либо было чуть выше 36,0 мг O₂/л. К этапу III отмечалось снижение химического потребления кислорода. В 2013 г. высокие значения ХПК (24,0–96,0 мг O₂/л) зафиксированы на I и II вегетационном этапе, что выше гигиенического норматива в 1,6–6,4 раза. Это свидетельствует о накоплении в воде планктонного гумуса, который относится к алифатическим соединениям. Данное явление характеризуется, как экстремально-стихийное и связано с наводнением в Амурской области и обширным разливом р. Зея во второй половине лета.

В целом, динамика насыщенности органическим веществом имеет прямую зависимость от суммы активных температур и их пиков в летний период. Это явление становится экстремальным для автотрофных и большей части гетеротрофных организмов, так как приводит к повышению доли анаэробных бактерий, которые вызывают активное гниение. Водоем может стабилизироваться при значительном выпадении осадков, повышающих кислородный показатель. Согласно Г.Г. Винбергу (1960), первичная продукция и поступающее с водотоком органическое вещество составляют материальную и энергетическую основу всех последующих этапов дальнейшего продуцирования ОВ в водном объекте.

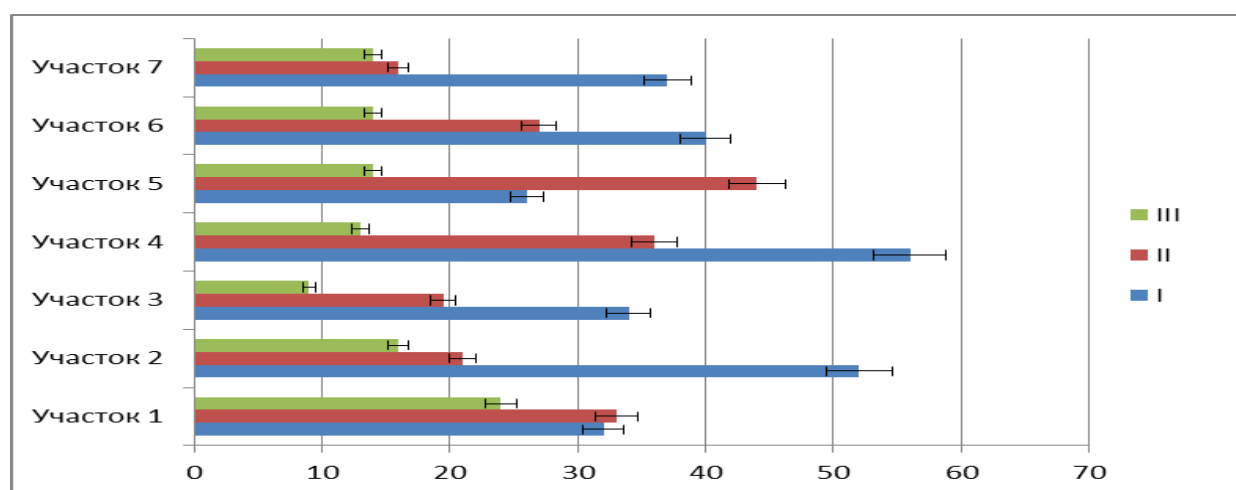


Рисунок 2 – Химическое потребление кислорода в р. Ивановка в 2012–2013 гг., мг O₂/л. Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь

Наши исследования показали, что для фонового участка реки (участок 1) также характерны высокие показатели содержания органического вещества: ПО – 2,5–3,4 ПДК; ХПК – 1,6–2,2 ПДК. Полагаем, что это явление характерно для вод р. Ивановка и в целом для региона. Из-за поступления разнообразных соединений (почвенного гумуса, растительных остатков с полей и пастбищ, стоков с Ерковецкого угольного разреза) в пробах воды регистрировали нарушения экологических нормативов по данным показателям. Самые высокие концентрации органических соединений регистрировали на 4 и 5 участках реки, где были отмечены критические величины БПК₅ (2 ПДК), ПО (2,5–3,5 ПДК), ХПК (3–4 ПДК). Это свидетельствует о чрезвычайной экологической ситуации, созданной животноводческими стоками в комплексе со сточными водами угольного разреза.

В разделе 4.3 обсуждается динамика биогенных элементов в воде р. Ивановка. За время наших исследований среднее содержание аммонийного азота не превышало гигиенический

норматив на всех участках реки (табл. 5). На вегетационном этапе II были зафиксированы наибольшие концентрации аммонийного азота в пределах 1,1–2,2 мг/л, превышение норматива было незначительным. Максимальные значения отмечены на 1, 6, 7 участках реки. К этапу III этот показатель снижался до 0,4–0,8 мг/л, что было связано с приостановлением процесса аммонификации в результате понижения температуры.

В период исследований среднее содержание нитритов на всех участках реки соответствовало экологическим нормативам (табл. 5). Наиболее высокие значения были отмечены в III этапе наблюдений на 1, 2, 4, 7 участках реки и составили 0,034–0,051 мг/л. Повышенное содержание нитритов указывает на усиленное разложение органического вещества, что подтверждается нашими исследованиями.

Известно, что концентрация нитратов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям: наименьшая в вегетационный период, увеличивается осенью и достигает максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные (Кузнецов, 1970). Амплитуда сезонных колебаний концентрации нитратов может служить одним из показателей объемов эвтрофирования водного объекта и степени его загрязненности органическими азотсодержащими веществами, поступающими с хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками, а также с атмосферными осадками. На этапе I на всех участках реки в 2011 г. вода содержала много нитратов и соответствовала классу качества воды «загрязненная» и «грязная». В середине теплого периода превышение нитратного азота усугубилось в 1,1–2,3 раза, более всего на участках 1, 3, 4, 5. Хотя выпавшие осадки были незначительными, они вызвали смывы накопившегося органического вещества и минерального азота с сельскохозяйственных угодий. К концу вегетационного периода в этот год осадков выпало меньше нормы, тем не менее, содержание нитратов в воде уменьшилось на всех участках реки и стало ниже предельно допустимых концентраций.

В начале теплого периода 2012 г. превышение ПДК нитратов в 1,6–2,8 раза было отмечено в нижнем течении реки (6 и 7 участки). В середине теплого периода 2012 г. превышение ПДК нитратного азота в 2–3 раза отмечали на 1–5 участках. К завершению вегетационного периода превышения содержания нитратного азота в воде реки и в водохранилище выявлено не было.

В 2013 г. в начале вегетационного этапа в воде зафиксировано превышение ПДК нитратного азота в 1,2–1,4 раза на 3 и 7 участках реки. Наибольшее содержание нитратов, в пределах 0,8–5,9 мг/л, отмечали в середине и к концу вегетационного периода. Вода в этот период соответствовала классу «слабо загрязненной» и «очень грязной». Максимально высокие концентрации нитратного азота (1,1–4,4 ПДК) зафиксированы во II–III периоды наблюдений на всех участках реки (табл. 5), вода соответствовала классу «грязная». Во всех случаях заметные показатели превышения концентрации азота были связаны с обильными дождевыми осадками, приносящими в водоем почвенные смывы, как с полей, так и с пастбищ. В этих смывах находятся азотсодержащие удобрения, которых особенно много в местах выращивания сои. Возможно также, что увеличение содержания этого элемента в конце вегетационного периода происходит за счет деструкции естественной органики.

При изучении обеспеченности водоема фосфором мы определяли концентрацию его минеральной формы. В природных водах фосфор содержится в малом количестве, вследствие низкой растворимости его соединений и его интенсивного поглощения гидробионтами. Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, поскольку зависит от соотношения интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического окисления органических веществ. Минимальные концентрации фосфатов в поверхностных водах наблюдаются обычно весной и летом, максимальные – осенью и зимой.

Средние значения содержания минерального фосфора в течение 2012–2013 гг. в первый период не соответствовали экологическим требованиям, вода на всех участках классифицировалась как «грязная». Во второй период исследований его концентрация

немного стабилизировалась, вода преимущественно соответствовала классу «загрязненная», за исключением 4 и 5 участков. В третий период исследований на всех участках реки вода классифицировалась как «грязная» (табл. 5).

В засушливые годы, такие как 2012 г., содержание в воде фосфора минерального на всех участках реки даже в середине лета было значительным и в соответствии с классификацией водоемов по ГОСТу вода являлась «загрязненной» (0,06–0,22 мг/л). Местами (участок 4) вода классифицировалась как «грязная», т.к. содержание минерального фосфора составляло 0,41 мг/л.

В начале теплого периода 2013 г., когда лето было холодное и дождливое, содержание минерального фосфора находилось в пределах 0,24–0,68 мг/л. В этот год наибольшие концентрации фосфатов наблюдались в середине и конце теплого периода исследований (0,08–1,10 мг/л). В целом, содержание минерального фосфора в воде в начале и конце теплого периода было достаточно высоким. В середине периода концентрация уменьшилась, находясь в зависимости от объемов и активности жизнедеятельности биоты реки, так как в холодные и дождливые годы численность микроорганизмов на единицу объема вод реки небольшая, соответственно и уровень усвоения минерального фосфора также незначителен.

В течение летнего вегетационного периода 2011 г. за исключением 1 участка реки, на всех остальных участках отмечалось повышенное содержание железа (0,33–1,1 мг/л). Превышение норматива составило 1,1–3,6 ПДК. Повышенная концентрация железа отмечалась в течение всего периода наблюдений и в 2012 г. Его максимальное содержание отмечалось на 6 участке (0,42–0,67 мг/л), на 7 участке (0,36–0,44 мг/л), превышение ПДК составило соответственно 1,2–1,5 раза (табл. 6). В течение вегетационного периода 2013 г. в пробах воды также отмечается повышенное содержание железа. На 4 участке отмечено превышение в 2 раза, на 7 – в 1,6 раза. На остальных участках отбора проб концентрация железа находилась на уровне ПДК. В целом превышение в течение 2011–2013 гг. составляло 1–3 ПДК.

Железо почти всегда присутствует в природных водах, так как оно повсеместно рассеяно в горных породах. Высокое фоновое содержания железа характерно для данного региона, где в грунтовых водах его 1,64–2,75 мг/л, а заметное увеличение его концентраций на разных участках вызвано смывами, в нашем случае с Ерковецкого угольного разреза (Шестеркин и др., 2013). Немаловажным является исток реки, который берет свое начало на болотистой местности, что может вызывать повышение содержания железа, так как болотная руда представляет собой разновидность бурого железняка, естественно отлагающегося на корневищах болотных растений, что и повышает содержание элемента в природных водах.

В поверхностные воды марганец поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов, в процессе разложения водных животных и растительных организмов. Содержание марганца в воде не связано с конкретным месяцем, степенью прогрева воды и стадиями процесса ее цветения. Марганец способствует утилизации CO_2 растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота (Крамаренко, 1989). В нашем случае динамика средних показателей Mn^{2+} по периодам вегетации 2011–2013 гг. выглядит следующим образом: 0,04–0,23 мг/л в первой половине лета, 0,05–0,33 мг/л в середине лета, 0,19–0,38 мг/л осенью, т.е. происходит его постепенное увеличение. Данный факт показывает, что на этапе I вегетационного периода фотосинтезирующие организмы набирают свою максимальную биомассу (табл. 7). В целом, результаты исследования показали, что изменения концентрации марганца на разных участках реки довольно резкие и не приурочены к определенному периоду времени. Мы полагаем, что это связано с влиянием на речную экосистему извне и объясняется массовыми притоками от обильных осадков, разливов во время наводнений, паводков и техногенных сбросов. Выявленные изменения на этапе III в 2013 г. были связаны с чрезвычайной ситуацией (наводнением), когда произошли изменения в гидроциркуляции и в воде р. Ивановка появилось много нехарактерных примесей.

Таблица 5

Динамика биогенных элементов в воде р. Ивановка в 2011–2013 гг., мг/л (n = 3)

Место отбора проб	NH ⁺ ₄ *			N-NO ⁻ ₂ **			N-NO ⁻ ₃ ***			PO ³⁻ ₄ ****		
	Периоды											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	0,8±0,27	1,6±0,44	0,8±0,44	0,010±0,005	0,007±0,002	0,046±0,023	0,35±0,19	0,70±0,32	0,68±0,61	0,51±0,14	0,07±0,01	0,45±0,26
Участок 2	1,5±0,28	1,3±0,59	0,4±0,15	0,004±0,002	0,005±0,002	0,034±0,015	0,39±0,09	0,79±0,33	0,82±0,64	0,53±0,10	0,09±0,01	0,47±0,43
Участок 3	0,9±0,40	1,3±0,53	0,8±0,43	0,011±0,008	0,051±0,013	0,018±0,011	0,61±0,11	1,05±0,38	0,19±0,64	0,36±0,12	0,27±0,07	0,52±0,43
Участок 4	0,5±0,15	1,3±0,60	0,8±0,47	0,026±0,023	0,018±0,011	0,051±0,026	0,43±0,19	0,96±0,20	2,18±1,86	0,73±0,05	0,64±0,23	0,51±0,40
Участок 5	0,6±0,15	1,1±0,33	0,7±0,44	0,003±0,001	0,020±0,008	0,022±0,014	0,37±0,18	1,35±0,28	0,19±0,10	0,50±0,14	0,32±0,12	0,64±0,47
Участок 6	0,6±0,34	2,2±0,07	0,7±0,42	0,003±0,001	0,011±0,005	0,025±0,017	0,65±0,13	0,53±0,29	0,46±0,37	0,52±0,06	0,23±0,01	0,37±0,29
Участок 7	1,3±0,28	1,7±0,78	0,6±0,26	0,005±0,002	0,015±0,008	0,038±0,018	0,89±0,26	0,67±0,33	0,67±0,37	0,36±0,03	0,11±0,10	0,53±0,42

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

*Гигиенический норматив – 2,0 мг/л.

**Экологический норматив –0,03–0,5 мг/л; гигиенический норматив –1,0 мг/л.

*** ПДК нитратов для водоемов – 0,5 мг/л.

**** По ГОСТ 17.1.2.04-77 воды с содержанием P- PO_4^{3-} от 0,005 до 0,03 мг/л считают чистыми; от 0,04 до 0,3 мг/л – загрязненными; от 0,31 и более 0,6 мг – грязными.

Таблица 6

Среднее содержание ионов Fe^{3+} в воде р. Ивановка в 2011–2013 гг., мг/л (n = 3)

Место отбора проб	Периоды		
	I	II	III
Участок 1	0,39±0,04	0,17±0,04	0,29±0,18
Участок 2	0,45±0,10	0,30±0,10	0,85±0,58
Участок 3	0,31±0,08	0,25±0,11	0,19±0,10
Участок 4	0,58±0,37	0,17±0,07	0,44±0,25
Участок 5	0,41±0,21	0,15±0,05	0,28±0,13
Участок 6	0,42±0,10	0,67±0,05	0,58±0,22
Участок 7	0,33±0,06	0,58±0,12	0,91±0,59
ПДК (Fe^{3+}) – 0,3 мг/л			

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

Таблица 7

Среднее содержание ионов Mn^{2+} в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг., мг/л (n = 3)

Место отбора проб	Периоды		
	I	II	III
Участок 1	0,11±0,09	0,12±0,08	0,27±0,24
Участок 2	0,05±0,03	0,10±0,07	0,25±0,22
Участок 3	0,48±0,31	0,33±0,24	0,28±0,12
Участок 4	0,04±0,03	0,05±0,02	0,38±0,28
Участок 5	0,05±0,02	0,06±0,02	0,32±0,25
Участок 6	0,05±0,04	0,11±0,06	0,19±0,12
Участок 7	0,23±0,10	0,26±0,10	0,28±0,13
ПДК Mn^{2+} – 0,1 мг/л			

Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь.

В главе 5 приводится характеристика эколого-трофических групп гетеротрофных микроорганизмов, обсуждается их роль в саморегуляции и самовосстановлении качества воды.

Наши наблюдения за численностью гетеротрофных микроорганизмов в р. Ивановка (раздел 5.1) были начаты с III вегетационного этапа 2011 г. В это время их численность варьировала от 3 до 500 тыс. кл/мл. Наименьшее количество бактерий данной группы было обнаружено в воде водохранилища с. Анновка (участок 4) – 3 тыс. кл/мл и в воде 3 участка реки – 5 тыс. кл/мл, что ниже, чем в воде других участков в несколько десятков раз. Такие низкие показатели численности гетеротрофных организмов в воде могли быть связаны с массовым цветением водорослей, которые могут отрицательно влиять на количество бактерий-гетеротрофов. В других местах отбора проб по численности гетеротрофных микроорганизмов вода классифицировалась как «грязная» (ГОСТ 17.1.2.04-77), т.к. их содержание было в пределах 150–500 тыс. кл/мл. В течение вегетационного периода 2012 г. состояние воды в реке соответствовало классам «загрязненная» и «грязная». Высокая численность гетеротрофов была отмечена на I и II вегетационных этапах. Сухая, жаркая погода в эти месяцы (30–36°C) активизировала процессы первичного продуцирования, в результате произошло повышение численности гетеротрофов. Снижение численности бактерий данной эколого-трофической группы происходило на этапе III, что, вероятно, связано с завершением процессов минерализации органических соединений, понижением температуры и нормальным количеством выпадающих осадков. Особенно хорошо это

прослеживалось в районе устья р. Ивановка, где, согласно количеству бактерий (45 кл/мл), воды относятся к классу «чистые». Понижение численности микроорганизмов подтверждалось и показателями биохимического потребления кислорода (0,8 мг O₂/л), и вода классифицировалась как «очень чистая». В течение вегетационного периода 2013 г. вода исследованных участков соответствовала классам «загрязненные» и «грязные» воды.

На вегетационном этапе III в 2011 г. в воде р. Ивановка наблюдалось высокое содержание бактерий-аммонификаторов (250–300 тыс. кл/мл) (раздел 5.2). Возможно, это было связано с низким содержанием в воде растворенного кислорода (3,8–6,7 мг O₂/л), которое привело к торможению процесса нитрификации, образованию большого количества аммонийного азота (1,5–4,3 ПДК), что свидетельствовало о слабоидущих процессах самоочищения (рис. 3).

В 2012 г. по содержанию аммонийного азота вода в водоеме классифицировалась как «удовлетворительной чистоты», «загрязненная» и «грязная». Наиболее высокие концентрации аммония были отмечены на этапе I и зафиксированы максимальные количества аммонификаторов (4,5–250 тыс. кл/мл). На этапе II по содержанию NH₄⁺ наиболее загрязненной была вода в районе участка 6 (ниже сброса сточных вод), 5,3 ПДК – класс «грязные» воды, но количество бактерий данной группы было невысоким (45 кл/мл).

Развитие аммонийоокисляющих бактерий в значительной степени определяется рН среды, оптимум которой находится в пределах 7,4–7,8. В наших исследованиях вода была более щелочной (рН 8,2), что могло повлиять на микроорганизмы данной группы. На вегетационном этапе III по содержанию аммонийного азота вода классифицировалась как «удовлетворительной чистоты», количество аммоний-окисляющих микроорганизмов было невысоким (25–2,5 тыс. кл/мл).

В период исследований прослеживалась некоторая независимость численности аммонийоокисляющих бактерий от содержания в воде аммонийного азота. В некоторых случаях была видна корреляция взаимного увеличения и спада, в иных случаях нет. Возможно, это вызвано комплексным влиянием факторов. Цветение аммонийоокисляющих бактерий не наступает при несоответствии температур и рН среды.

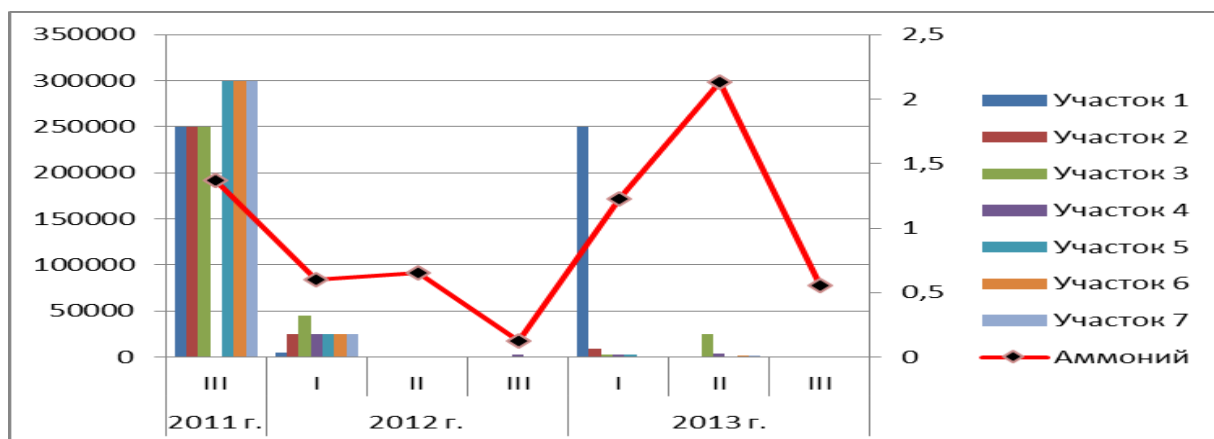


Рисунок 3 – Численность аммонийоокисляющих бактерий (кл/мл) и среднее содержание N-NH₄⁺ (мг/л) в воде р. Ивановка в 2011–2013 гг.

Значительное влияние на интенсивность нитрификации оказывает концентрация растворенного в среде кислорода. Нитритоокисляющие бактерии относятся к хемолитоавтотрофам и являются облигатными аэробами (Теппер и др., 1979). Они более чувствительны к пониженному содержанию кислорода, чем аммонийоокисляющие (Ляликова, Лебедева, 1989).

По количеству бактерий данной эколого-трофической группы прослеживается зависимость между их численностью и содержанием нитритного азота. Наиболее высокие показатели по содержанию NO₂⁻ (2,4–4,9 ПДК) отмечены в воде исследуемых участков на III этапе в 2011 г. В этот период зафиксировано и наибольшее количество

нитритоксилирующих бактерий (0,3–250 тыс. кл/мл). В 2012 г. бактерии, окисляющие нитриты до нитратов, отмечены в небольших количествах. Возможно, наличие больших количеств легкоокисляемой органики (1,1–1,9 ПДК для БПК₅, и 2–2,5 ПДК для ПО) угнетало рост микроорганизмов данной группы (рис. 4).

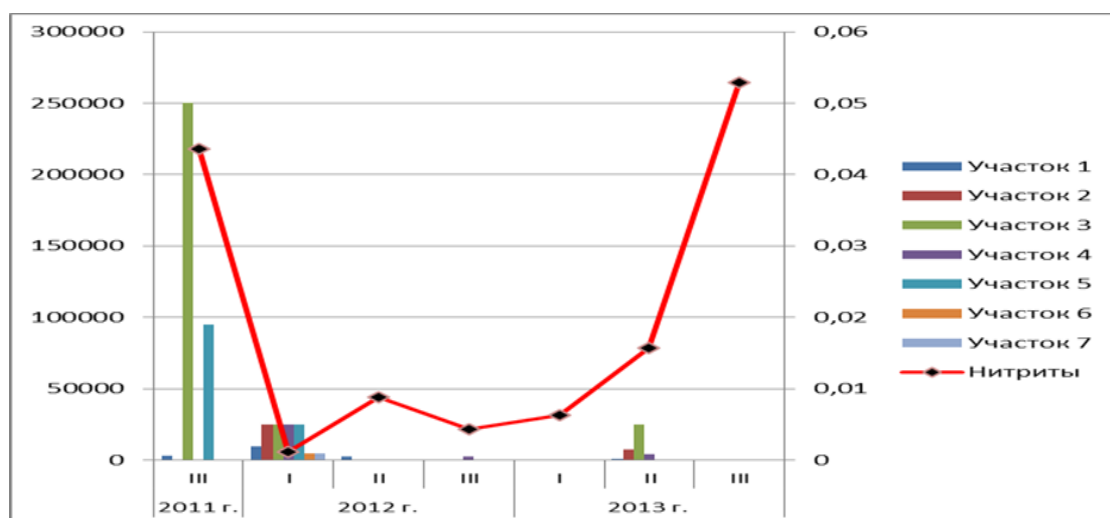


Рисунок 4 – Численность нитритоксилирующих микроорганизмов (кл/мл) и среднее содержание нитритов NO_2^- (мг/л) в воде р. Ивановка

Наблюдения за численностью фосфороксилирующих бактерий были начаты с III вегетационного этапа 2011 г. В 2013 г., в течение летнего вегетационного периода, содержание фосфороксилирующих бактерий было отмечено на этапах I и II, численность бактерий данной группы составляла 68–412 кл/мл, вода соответствовала классу «грязная».

Численность гетеротрофных, аммоний-, нитрит-, фосфороксилирующих бактерий в воде р. Ивановка позволяла классифицировать воду как «загрязненная» и «грязная» в течение всего периода исследований.

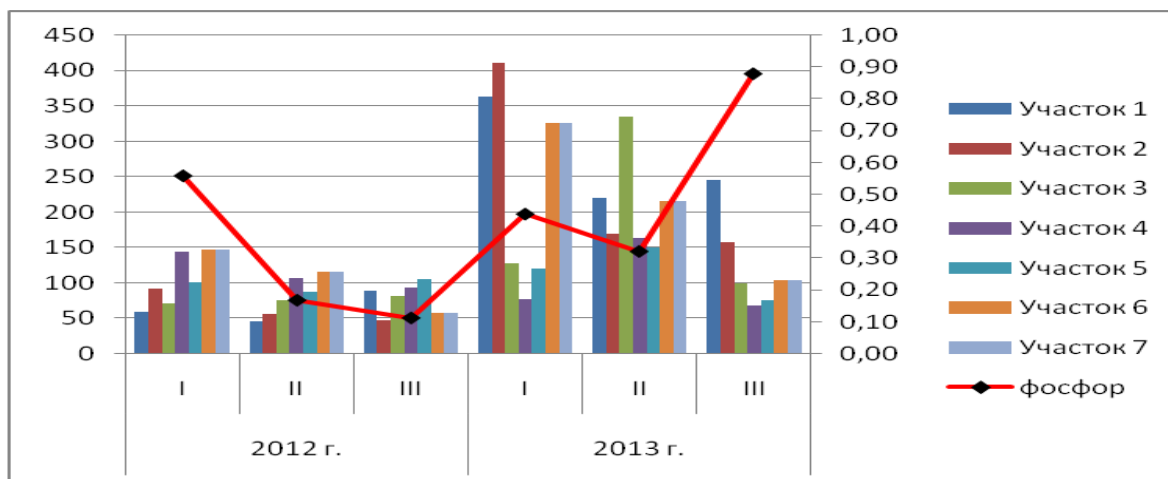


Рисунок 5 – Численность фосфороксилирующих бактерий (кл/мл) и содержание $P_{\text{мин.}}$ (мг/л) в воде р. Ивановка

В разделе 5.3 обсуждается зависимость численности микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота и концентрации окисляющего вещества. Комплексное применение методов химического анализа и биологического контроля позволяет получить более точную интегральную оценку состояния малых рек. Для проведения факторного эксперимента нами были выбраны содержание аммонийного, нитритного, нитратного азота в воде р. Ивановка, а численность аммонийоксилирующих бактерий была выбрана в качестве результирующей функции.

Корреляционный анализ взаимозависимого влияния факторов показал, что численность аммонийнокисляющих бактерий может постоянно расти при сочетании с аммонийным и нитратным азотом и не имеет предела оптимума. Если предел оптимума и существует, он достигается при больших концентрациях, которых в речной воде нет. Численность бактерий данной эколого-трофической группы определяется концентрацией неорганических форм азота, однако при увеличении аммонийного и нитритного азота ее увеличение происходит не сразу. Скорее всего, в данном случае существуют иные влияющие факторы, которые были не учтены нами, поскольку саморегуляция экосистемы реки обеспечивается большим количеством разных факторов, каждый из которых имеет значение для экосистемы в целом.

ВЫВОДЫ

1. Исследование межгодовой динамики состояния воды р. Ивановка по содержанию растворенного кислорода, органических веществ и биогенных элементов не показало заметных различий в основной части русла. Температурный режим и количество осадков конкретного года вносят специфические особенности, которые затем приходят в норму в течение года. На всех этапах вегетационного периода часть речного русла имеет отдельные участки застоя с чрезвычайно низким содержанием кислорода (1,7–3,8 мг O_2 /л) и загрязнения с заметным различием химических показателей.

2. В начале теплого периода года в воде преобладают исключительно гетеротрофные микроорганизмы, численность которых постепенно растет к середине лета и плавно снижается осенью. С наступлением высоких летних температур начинается цветение аммонийнокисляющих и нитритокисляющих бактерий. К осени численность последних постепенно сокращается и сменяется на растущее число фосфорокисляющих микроорганизмов. Из эколого-трофических групп микроорганизмов, по максимальным значениям численности преобладают фосфорокисляющие бактерии.

3. В обычные годы, несмотря на колебания климатических факторов, концу теплого периода года все биохимические показатели воды приходят в норму. Обитающие в реке микроорганизмы способны справиться с имеющимися загрязнениями и поддерживать экологическое равновесие. Таким образом, р. Ивановка справляется с основной буферной функцией малых рек в водосборном бассейне р. Амур.

4. Численность аммонийнокисляющих бактерий не имеет предела оптимума и может постоянно расти при сочетании с аммонийным и нитратным азотом. Предел оптимума достигается при очень больших концентрациях этих соединений, которых, однако, нет в речной воде. При увеличении сочетания аммонийного и нитритного азота, увеличение численности бактерий происходит не сразу.

5. Отдельные участки со значительным антропогенным влиянием, сельскохозяйственного и промышленного производства в русле реки вносят существенные загрязнения, причем количество аллохтонных примесей растет ежегодно. Хотя речная экосистема в большей степени справляется с деструкцией этих выбросов, по многим показателям ПДК имеется тенденция к характеристике качества воды, как «грязной». Величина ПО на всех участках реки может превышать норматив в 1,1–3,9 раза, БПК₅ на участках 4, 5, 6 устойчиво соответствует классу «грязная» из-за превышения ПДК в 1,1–1,9 раза. По содержанию аммонийного азота на этих же участках загрязнения превышали норматив в 1,1–2,2 раза, по содержанию минерального фосфора вода классифицировалась как «грязная». Содержание железа превышало норматив в 1,1–2,2 раза, что являлось естественным фоном вод данного региона. Содержание ионов марганца в воде в год с обильными осадками и невысокими летними температурами было выше нормы в 3 раза.

6. Стихийные бедствия, такие как наводнения, на р. Амур в конце лета 2013 г. нарушили механизмы самоочистки и саморегуляции. В отличие от остальных лет, химико-биологические показатели в год наводнения не пришли в норму к концу вегетационного периода. В подобных условиях на восстановление речной экосистемы требуется более длительное время.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Гаращук Д.Ю.** Экологическое состояние воды реки Ивановки по содержанию различных форм азота / **Д.Ю. Гаращук**, С.Г. Харина, Т.П. Колесникова, Ж.А. Димиденко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 9. С. 59–63.
2. **Гаращук Д.Ю.** Оценка качества воды реки Ивановки бассейна реки Амур по содержанию растворенного органического вещества / **Д.Ю. Гаращук**, С.Г. Харина, Ж.А. Димиденко // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 125–130.
3. **Гаращук Д.Ю.** Мониторинг экологического состояния воды реки Ивановка Амурской области / **Д.Ю. Гаращук**, Ж.А. Димиденко // Проблемы региональной экологии. 2017. № 5. С. 5–9.

Публикации в других изданиях

4. **Гаращук Д.Ю.** Оценка качества воды реки Ивановка по содержанию растворенного органического вещества / **Д.Ю. Гаращук** // Мат. XIV рег. науч.-практ. конф. с межрег. и межд. участием «Молодежь XIX века: шаг в будущее». Благовещенск: Изд-во БГПУ. 2013. Т. 6. С. 5–6.
5. Колесникова Т.П. Оценка качества воды реки Ивановка по содержанию микроорганизмов различных эколого-трофических групп / Т.П. Колесникова, **Д.Ю. Гаращук** // Сб. мат. I межд. науч.-практ. конф. «Экология и современное общество». Чебоксары: ЧКИ РУК. 2013. С. 176–181.
6. Димиденко Ж.А. Оценка экологического состояния водоемов бассейна Амура как основы устойчивого развития водных ресурсов / Ж.А. Димиденко, С.Г. Харина, **Д.Ю. Гаращук** // III сборник научных трудов «Экологические проблемы Сибири, Дальнего Востока России и стран АТР и их отражение в экологическом образовании». Благовещенск: БГПУ. 2013. С. 29–33.
7. **Гаращук Д.Ю.** Содержание биогенных элементов и тяжелых металлов в воде реки Ивановка Амурской области / **Д.Ю. Гаращук**, С.Г. Харина, Ж.А. Димиденко // Всерос. конф. «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», мат. V Дружининских чтений. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2014. С. 408.
8. **Гаращук Д.Ю.** Экологическое состояние воды реки Ивановка бассейна реки Амур по содержанию минерального фосфора / **Д.Ю. Гаращук**, Ж.А. Димиденко // Мат. VIII межд. форума «Охрана и рациональное использование лесных ресурсов». Благовещенск. 2015. С. 135–140.
9. Харина С.Г. Химико-экологическая оценка состояния реки Ивановка бассейна реки Амур / С.Г. Харина, Ж.А. Димиденко, **Д.Ю. Гаращук** // III Международной научной конференции «Современные тенденции развития и технологии полимерных материалов». СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД». 2015. С. 158–159.
10. Сергеева В.В. Экологическое состояние природных вод Амурской области относительно динамики содержания тяжелых металлов / В.В. Сергеева, **Д.Ю. Гаращук**, Р.А. Чикачев // Мат. 2-й рег. науч.-практ. конф. городских учреждений и предприятий Амурской области «Экология города». Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет. 2018. С. 85–90.
11. Сандакова С.Л. Способность малой реки Ивановка к саморегуляции и самовосстановлению в условиях антропогенного воздействия / С.Л. Сандакова, **Д.Ю. Гаращук** // Сб. ст. X межд. науч.-практ. конф. «European Scientific Conference». Пенза, МЦНС «Наука и просвещение». 2018. С. 34–38.

Гарашук Дарья Юрьевна

**САМОРЕГУЛЯЦИЯ И САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ
МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
(РЕКА ИВАНОВКА, ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН РЕКИ АМУР)**

*Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук*

Подписано в печать 11.04.2019 г.
Формат 60*84/16. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,41. Усл. печ. л. 1,16
Тираж 100 экз. Заказ № 8

Издательство
Камчатского государственного технического университета
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35