

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

На правах рукописи

ГАРАЩУК ДАРЬЯ ЮРЬЕВНА

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

03.02.08– экология (биология)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
Сандакова Светлана Линхоевна
доктор биологических наук

Петропавловск-Камчатский, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	10
1.1. Значение и классификация малых рек	10
1.2. Изменение состояния экосистем малых рек под воздействием природных факторов.....	13
1.3. Изменение качества воды рек в результате техногенеза.....	16
1.3.1. Активная реакция среды.....	22
1.3.2. Органическое вещество в природных водах.....	24
1.3.3. Содержание основных биогенных элементов.....	31
1.4. Использование метода биоиндикации в оценке состояния малых рек.....	39
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	43
2.1.1. Климат.....	43
2.1.2. Почвы.....	50
2.1.3. Геохимические особенности состава природных вод.....	57
2.2. Характеристика реки Ивановка.....	60
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	65
ГЛАВА 4. ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ИХ РОЛЬ В САМОВОССТАНОВЛЕНИИ И САМОРЕГУЛЯЦИИ ВОДЫ РЕКИ ИВАНОВКА.....	72
4.1. Активная реакция среды, как лимитирующий фактор жизнедеятельности водных микроорганизмов.....	72
4.2. Изменение содержания растворенного кислорода и органических веществ в реке Ивановка	75
4.3. Динамика биогенных элементов в воде реки. Ивановка.....	83

ГЛАВА 5. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИХ РОЛЬ В САМОРЕГУЛЯЦИИ И САМОВОССТАНОВЛЕНИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ.....	95
5.1. Численность гетеротрофных микроорганизмов воды реки. Ивановка.....	95
5.2. Оценка численности эколого-трофических групп микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота и фосфора.....	97
5.3. Зависимость численности микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота и концентрации окисляющего вещества (на примере 2012 г.).....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
ВЫВОДЫ.....	110
ЛИТЕРАТУРА.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	132

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 них 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 река претерпела множество изменений. Она образовалась из некогда полноводной континентальной реки, русло которой

менялось. Так, появлялись протоки, отчленились рукава, накапливались донные отложения. Сегодня, она расположена на территории сельскохозяйственного природопользования с каскадом водохранилищ, комплексом животноводческого и аграрного производства. Протекает рядом с населенными пунктами, имеющими инфраструктуру 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 предотвращение загрязнения поверхностных вод. Полученные результаты могут быть использованы при обучении студентов общебиологических 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 вспышкой численности, окисляющих сапрофитных гетеротрофных бактерий – аммоний-, нитрит-, фосфорокисляющих.

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 от 3 до 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 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. Бузолевой (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.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Значение и классификация малых рек

Мировой океан занимает около 71% всей площади планеты (361 млн. км²), а на озера, реки, ледники, водохранилища и прочие источники пресной воды приходится всего 15% (20 млн. км²) (Свергузова и др., 2011). Понятие «малые реки» достаточно условно, но им успешно и часто пользуются, тем более что на их долю приходится 99% всех естественных водотоков России, а их протяженность составляет 94% долины всех рек. В среднем, на каждый квадратный километр приходится 0,5 км русла (Фильчагов, 1989; Энциклопедический..., 1968; Малые реки..., 1988). Большинство малых рек – это самые верхние звенья крупных речных систем. Реки покрывают густой сетью равнинные и горные территории, являющиеся областями формирования ресурсов поверхностных вод, поэтому малые реки в значительной мере определяют своеобразие состава воды и водных биоценозов, особенности гидрологического и биологического режима, питающихся их водами средних и крупных рек. Сток малых рек, впадающих непосредственно в крупные, служит одной из важных причин трансформации состава и качества воды в низовьях речных систем в отдельных фазах их гидрологического режима (Восстановление..., 1989).

В соответствии с ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» (1988), под «малыми реками» понимаются реки, бассейны которых располагаются в одной географической зоне и гидрологический режим, которых под влиянием местных факторов может быть не свойственен рекам этой зоны. «Малыми» считаются реки с площадью водосбора менее 2000 км. Малые реки имеют дополнительную градацию. Самые малые от 0,1–10 км, именуемые ручьями, очень малые от 11–25 км, их часто называют «речушками». Малые (1-я группа), от 26–50 км называют «речки, малые (2-я группа) от 51–100 например – Двинских, Китаев.

Основным отличием малой реки от крупной, кроме размера реки, считают глубину вреза. У малых рек она меньше, поэтому малая река вскрывает и дренирует меньшее число подземных водоносных горизонтов (Рохмистров, 2004). В целом предложения о верхних критериальных размерах категории малых рек различаются сильно: по площади водосбора – от 1000 до 10000 км², по длине – от 50 до 200 км. Эти различия связаны с разным толкованием понятия «малая река» (Алексеевский и др., 1998; Веницианов и др., 2014). Поскольку нет четкости и единства мнений в критериях выделения малых рек, то после проведенной гидрологами большой инвентаризационной работы по водным объектам всех речных бассейнов страны в разных документах и научных изданиях фигурируют весьма разноречивые сведения о количестве малых рек (Черных, 1987).

В Российской Федерации насчитывается 2,5 млн. малых рек и ручьев, 127 тыс. из них длиной от 10 до 200 км и общей протяженностью 3000 тыс. км наиболее интенсивно используются в народном хозяйстве (Ткачев, Булатов, 2002; Малые реки..., 1998). Так, в России сток малых рек составляет более 1/3 от суммарного стока, в том числе в европейской части – 361 км³ (41%) и в азиатской – 1145 км³ (97%).

В использовании малых рек происходило изменение не только в интенсивности эксплуатации, но и в направлении антропогенного воздействия. Например, использование энергии малых рек небольшими водяными мельницами во многих районах страны, десятилетиями, игравшими заметную роль в сельском хозяйстве, прекратилось еще до Великой Отечественной войны. Широкое использование малых рек для промышленного водоснабжения, начавшееся в конце XVIII века в горнозаводских районах Урала, а много позднее в средней полосе европейской части страны, утратило значение в период индустриализации. В это же время, в новом качестве – уже как часть крупных систем водоснабжения малые реки и сейчас играют в ряде районов важную роль (Ткачев, Булатов, 2002; Малые реки..., 1988).

Уровень экологического благополучия малых рек является показателем общего экологического благополучия ландшафта и прилегающих экосистем в целом. Малые реки выполняют функции регулятора водного режима крупных рек, обеспечивают перераспределение влаги, определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных бассейнов. Являясь начальными звеньями водных систем, малые реки раньше и сильнее испытывают последствия отрицательного влияния человека на них, которые, в конечном итоге, сказываются и на состоянии крупных водотоков и водоемов (Смирнов, 2009).

В связи с проблемой малых рек в их отношении возникла определенная система одностипных природоохранных мероприятий. Установлено, что устойчивость речных экосистем напрямую зависит от степени облесненности речного русла (Дубах, 1951). Различного рода трансформация речной экосистемы и прилегающих к ней территорий сказывается на качестве водной среды для гетеротрофных микроорганизмов. Изменение гидрологического и гидрохимического режимов рек связано со степенью и масштабами изменений – размеров построенных гидротехнических сооружений, прилегающих к ним дорог, мостов, добычей полезных ископаемых в пределах русел рек. В целом это отрицательно сказывается на продуктивности рыб водных объектов в силу изменений их кормовой базы и нарушений проходимости водного русла (Коннов, 2007; Gore, 1981).

Проблемы экологического благополучия малых рек могут быть решены при осуществлении целого комплекса мер по рационализации природопользования, охватывающих не только водное хозяйство (в реке и у реки), но и сельское, лесное, коммунальное хозяйства (Алексеевский, 1998).

Существует мнение, что некоторая часть вырубок леса может благотворно влиять на водность малых рек. Это мнение ошибочно. Оно имеет кратковременный и благоприятный эффект (Федоров, 1986).

1.2. Изменения состояния экосистем малых рек под воздействием природных факторов

Состояние речных вод описывается совокупностью различных абиотических и биотических факторов. К этим факторам нужно отнести динамику уровня воды, расход, мутность, минерализацию, биомассу на единицу объема воды в разные сезоны, температуру воды и другие характеристики. Закономерно, повторяющиеся изменения этих характеристик определяют гидрологический режим реки. Для всех континентальных рек, а тем более малых равнинных рек в годовой динамике температур воды выделяют 4 сезона (Одрова, 1979): весеннего нагревания, летнего прогревания, осеннего охлаждения, зимнего замерзания.

Географическое положение, направление течения, рельеф местности вдоль русла определяет не только температурный режим воды, но и скорость динамических процессов в воде. Термический режим реки – это закономерные повторяющиеся изменения теплового состояния водотоков. Он также оказывает влияние на состояние флоры и фауны водоема, на состав и особенности микроорганизмов.

По данным метеостанции г. Благовещенска, расположенного в 176 км от истока реки (устье находится еще ближе, практически у самого города), среднегодовая динамика среднетемпературных показателей находится в пределах 10,1°C (табл. 1). При средней ширине реки 9 м и глубине от 1,7 до 5 м. можно констатировать, что р. Ивановка, имеет достаточный постоянный объем водотока для малых реки и является равнинной рекой с медленным течением. Размеры среднемесячных изменений температур и суммы осадков в районе исследования, хотя носят континентальный характер, являются довольно мягкими со значительными периодами глубокого промерзания до дна водоема и с коротким периодом, когда происходит сильное нагревание водного объема.

От степени прогрева воды зависит и растворимость газов, скорость многих химических реакций, протекающих в водах реки, качество и жизнедеятельность организмов. Этот фактор имеет большое значение для оценки процессов денудации, формирования химического состава речных вод, стабильности и развития водных экосистем, изменения скорости и интенсивности самоочищающихся способностей реки.

Таблица 1

Показатели температурной годовой динамики по данным
метеостанции г. Благовещенск

Климат Благовещенска													
показатель	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Абсолютный максимум, °С	0,2	7,0	2,3	27,0	34,7	39,4	37,7	30,9	33,5	28,0	13,4	3,6	39,4
Средний максимум, °С	-15,8	-9,5	-0,5	11,0	19,5	25,9	27,9	25,1	18,9	9,1	-4,9	-14,7	7,6
Средняя температура, °С	-21,9	-16,3	-6,8	4,7	12,8	19,3	21,8	19,6	12,7	3,2	-10	-1,8	1,6
Средний минимум, °С	-20,2	-21,0	-17,0	-1,2	0,6	12,0	17,2	15,1	7,6	-1,9	-14,1	-24,1	-2,5
Абсолютный минимум, °С	-44,5	-45,4	-35,7	-17,7	-7,5	0,1	0,2	4,4	-4,7	-24,8	-32,9	41,2	-45,4
Норма осадков, мм	7	5	11	31	46	83	125	123	64	26	14	8	543

Пределы колебания насыщенности кислородом воды важны для определения возможностей ее жизнеобеспечения. Так, в дождливые годы, насыщенность кислородом всегда выше за счет перемешивания водной толщи. Амурская область относится к регионам с резко континентальным характером климата, при котором наблюдаются периоды осадков до недели и более. Все особенности климата имеют выраженный характер наложения резко континентального и муссонного климатов. Повышение содержания кислорода на показателях ПДК наблюдается во все летние месяцы, преимущественно в августе. Повышение содержания кислорода в р. Ивановка наблюдается лишь в поверхностных водах не на всем протяжении русла. Наиболее опасными периодами, сопровождающимися заморами рыб, значительной гибелью

растительной составляющей экосистемы, являются жаркие, сухие летние месяцы, когда помимо нагрева воды, падает ее уровень, что еще больше усугубляет данную температурную ситуацию. Из-за нагрева резко падает содержание кислорода в воде. Обе эти ситуации относительно микроорганизмов имеют как общие, так и разнящиеся тенденции.

При повышении и понижении концентрации кислорода, деструктирующие организмы набирают значительную биомассу. При низком содержании кислорода повышается доля анаэробных микроорганизмов, а это расцвет азотфиксирующих, фосфороокисляющих и других организмов. В такие периоды повышается концентрация биогенных элементов без факторов загрязнения. Эти особенности характерны для малых рек, небольших прудов, ручьев, т.е. для водоемов с малым водоизмещением и с медленным током воды. Продолжительные процессы цветения анаэробных микроорганизмов способствует заиливанию и дальнейшему сокращению водной циркуляции (Подорнова, Чернов, 1997; Христофорова и др., 2015).

Режим температуры во многом определяет активность биоты и входящих в нее микроорганизмов. При охлаждении воды ниже 10°C осенью (сентябрь-октябрь) развитие водной растительности прекращается и начинается ее отмирание. Активность микроорганизмов начинает прекращаться практически на месяц позже, с установкой устойчивых отрицательных температур воздуха и до момента полного замерзания реки до дна. Весной в малых реках, по мере оттаивания происходит обратный процесс. Температурный режим рек и его закономерные изменения в зависимости от времени года характеризуют реки как среду обитания организмов с крайне нестабильными температурами (годовая температурная динамика, среднемесячные температуры в разные сезоны и среднесуточная температура в разные сезоны), соответственно, с разной скоростью деструктивных процессов, происходящих в воде (Михайлов, 2007).

1.3. Изменение качества воды рек в результате техногенеза

По мере своего развития, человечество расходует все большее количество воды для удовлетворения самых разнообразных нужд: водоснабжения населения, промышленности, выработки электроэнергии, орошения и обводнения земель, транспорта, рыбного хозяйства. Нет ни одной отрасли народного хозяйства, развитие которой было бы возможно без использования воды (Свергузова, 2011; Зверева, Крупская, 2012). Качество природной воды большинства объектов Российской Федерации не отвечает нормативным требованиям. Малые реки, в том числе и временные водотоки, долгое время не входили в поле деятельности водоохраных органов и находились в распоряжении самих местных водопользователей (колхозы, совхозы), по территории которых они протекали (Водогрецкий, 1990).

Проблема влияния хозяйственной деятельности на качество воды малых рек наиболее остро стоит в регионах с высокой плотностью населения. Малые речные бассейны весьма чувствительны к антропогенной нагрузке. Несмотря на достаточно высокую способность к самоочищению воды, они отвечают на эту нагрузку негативными изменениями, которые проявляются ухудшением или ограничением водопользования населения.

Разрушение и изменение русла, обмеление рек происходит из-за изменения климата, бессистемной вырубки лесов, распашки прибрежных склонов и пойменных земель до уреза воды. Разрушение старых речных мельниц с их запрудами, строительство не инженерных временных земляных плотин и перемычек, часто приводят к деградации рек, заиливанию русел, к полному исчезновению сотен малых рек, особенно в южных регионах (Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской, Воронежской, Волгоградской областях), а также на Урале, в Кузбассе, Красноярском крае. Поймы распаивались до самого русла, менялась глубина и обилие меандровых полей рек, т.е. форма русла. Интенсивная хозяйственная деятельность в бассейнах малых водотоков иногда приводила к их полному

исчезновению (Шестеркин и др., 2009).

В Амурской области, центральная часть которой является зоной интенсивного сельскохозяйственного использования, многие реки претерпели разрушение в первую очередь в прибрежной части с ее растительными и животными экосистемами. Поэтому поля, подходящие вплотную к берегам, распаиваются тяжелой сельскохозяйственной техникой, со значительными захватами постоянно иссыхающей части берегов. Таким образом, постепенное расширение полей приводит к разрушению каскадной части берега реки.

Такое же разрушение, но более локальное происходит из-за строительства береговых карьеров (как в нашем случае – Ерковецкий угольный разрез и мелкие карьеры для заготовки речной гальки, глины). Из-за забора грунта, а также его забрасывания в водные массы и разноса на обширные площади дна реки образуются участки, полностью лишенные бентосно-почвенного биослоя. Так, в случае с Ерковецким угольным разрезом огромные порции сточных вод с карьеров стекают в Анновское водохранилище, затем в р. Ивановка. Хотя имеется буферная предварительная фильтрация воды, часть взвесей попадает в реку, откладывая на дне лишние жизни слои, что не может не сказаться на состоянии речного тока реки и качестве вод.

Река Ивановка, в силу освоения человеком данных земель под хозяйственные нужды, на отдельных участках неоднократно была искусственно сжата из-за строительства дамб и карьеров, с ускорением тока воды под слабо заиленными карьерными грунтами. Также водохранилище на р. Ивановка, построенное в 2005 г. с затоплением определенных прилегающих полей, привело к изменению скорости течения воды, образовало места с измененной скоростью течения воды. Строительство гидротехнических сооружений, дорог, мостов, добыча полезных ископаемых в ряде случаев выполняются непосредственно в руслах рек. В зависимости от выполняемых объемов работ, длины линейных сооружений или

месторождений полезных ископаемых происходит изменение гидрологического и гидрохимического режимов рек. Это легко определить по хронической тенденции отрицательной рыбопродуктивности реки (Коннов, 2007). К этим же факторам можно отнести и фрагменты изменения береговой части русла р. Ивановка в местах отведения мелиоративных каналов с углублением и расчисткой русла.

В конце 20–30-х гг. XX в. основным видом интенсивного воздействия на русла малых рек был молевой сплав леса. Стволы деревьев застревали на перекатах, отмелях, на изгибах рек, резко уменьшая пропускную способность русел. Заломы выполняли функции плотин, что приводило к подтоплению и заболачиванию пойм. Бревна механически разрушали берега, способствуя местному расширению и заилению русел, что не могло не сказаться как на качестве самой воды, так и на скорости ее циркуляции.

Российский Дальний Восток (РДВ) в азиатской части Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) занимает лидирующие позиции по водноресурсному потенциалу. В связи с этим, территория РДВ в будущем рассматривается, как приоритетный регион для размещения новых крупных водоемких производств. Наряду с получением электроэнергии, эрозионная деятельность малых и крупных рек способствовала смыву породы, покрывающей отложения полезных ископаемых, что облегчило доступ к отложениям сравнительно дешевыми методами открытой добычи (Коржубаев и др., 2013; Контрович и др., 2013; Крейнин, 2005; Gore, 1981).

Малая река чутко реагирует на все антропогенные воздействия, которые осуществляются через нарушения поверхностного стока, например, сведение леса в бассейне реки, отведение воды на орошение, распашку склонов, нарушающих циркуляцию питающих вод. Река Ивановка так же, как и множество рек континента, за два столетия вырубок лесов на их берегах из некогда полноводной реки превратилась в малую с современным объемом и скоростью воды. Она обеспечивает обширные площади гидродинамическим питанием и буфером, придающую устойчивость.

В местах вырубок произошло обмеление реки, а также начали развиваться эрозионные процессы, связанные с избыточным поступлением наносов. В военные и послевоенные годы, в пойме реки и кормящих ее ручьев, часть берегов были интенсивно распаханы под огороды из-за близости к г. Благовещенску. Пахота способствует водной и ветровой эрозии почв, разрушая естественный растительный покров. Сносимая в водоемы почва повышает их мутность, провоцирует обмеление (Лаптев, 1982; Водогрецкий, 1990). На отдельных участках реки главным виновником эрозионных процессов является только тяжелая техника: 10–12-тонные тракторы, буквально размывают почвогрунты речного бассейна. Применение тяжелой техники увеличило эрозионные процессы, о чем свидетельствует статистика за последние десятилетия (22–25 года) (Маслов и др., 1997; Рохмистров, 2004).

В связи с особенностями климата, геологии, рельефа и аграрного типа хозяйствования региона здесь на протяжении более чем пятидесяти лет проводилась обширная осушительная мелиорация тяжелых почв с забором большого объема вод из рек. Данный процесс сопровождается значительными изменениями всех компонентов экосистем в зонах осушения (Аношкин, 2011). У данного воздействия двойной эффект. Иссущение болот лишает реки питания, и одновременно происходит значительный забор воды из реки на поливы. Вырубленный по берегам лес, в прошлом столетии, обрабатывали непосредственно на берегах, поэтому некоторые водотоки сильно заилились, что приводило к обмелению реки.

На протяжении 30 лет, из-за доступности частного транспорта, значительно увеличилась неконтролируемая рекреационная нагрузка. Неправильное или чрезмерное использование рекреационной зоны приводит к деградации почвенного покрова береговой части реки, а соответственно, качества и густоты растительного берегового покрытия, что не может не сказываться на полноте циркуляции водной массы реки. Для сохранения ее стабильности и продуктивности речной биоты требуется проведение

большого числа работ по восстановлению береговой буферной зоны (Burgess, Bides, 1980; Blazka, 1989), что не представляется сегодня возможным. Это не позволяет строить оптимистичные прогнозы относительно дальнейшей судьбы реки. Все перечисленные факторы являются составляющими большой комплексной проблемы обеспечения и сохранения объемов речной воды р. Ивановка и качества ее циркуляции и состояния биоразнообразия.

В связи с программами развития Дальнего Востока, принято решение о строительстве Приморского нефтехимического завода, где предполагается выпуск полимеров, бензола, олефинов и других продуктов нефтехимии. Существуют проекты в цветной металлургии: строительство алюминиевого завода в Хабаровском крае и Амурской области. Возможно возрождение целлюлозно-бумажного производства. Предполагается увеличение производства сои, рапса и риса. Все это, так или иначе, повлечет ухудшение качества водных ресурсов региона и его экологического состояния в целом (Степанько, 2014; Музипов, 2009; Нерестенко, Кулеш, 2000).

Наибольшее количество загрязненных стоков в Амурской области поступает в реки от предприятий, которые производят и распределяют электроэнергию, газ и воду – 46,1%, добывающих полезные ископаемые – 44,3% и добывающих топливно-энергетические полезные ископаемые – 35,6% (Государственный доклад..., 2012; Государственный доклад..., 2013). По данным этой сводки, основными загрязняющими веществами являются сульфаты, хлориды, аммонийный азот, нитраты, фосфор общий, жиры и масла, фенолы, соединения свинца.

На территории Амурской области есть следующие промышленные предприятия: Шимановский машиностроительный завод, Амурский металлист, Благовещенский завод строительных материалов, авиационный ремонтный, Новобурейский крановый завод, Свободненский вагоноремонтный завод и другие, которые причиняют вред окружающей среде. Количество выброса сульфатов, со второй половины 1990-х по 2006 гг., уменьшилось в 4,5 раза из-за остановки промышленного производства, а

с 2007 г. по 2010 г. увеличилось в 2 раза и существенно не меняется по настоящее время. Максимальный сброс хлоридов зафиксирован в 2000 г. и составил 2,41 тыс. тонн, минимальный – 1,88 тыс. тонн в 2004 г.

Сбрасывается большое количество аммонийного азота – более восьмисот тонн ежегодно. Максимальный сброс нитратов в поверхностные водоемы был отмечен в 2008 г. и составил 992,57 тонн. Соединения фосфора являются определяющим фактором продуктивности водных экосистем, и их избыток вызывает эвтрофирование. Максимальное количество фосфора, сброшенного в водоемы, может достигать 167 тонн в год. Учитывая низкую плотность населения, высокий уровень снижения численности населения по статистическим данным последних десятилетий, состояние поверхностных водных объектов в Амурской области можно оценить в целом, как неудовлетворительное (Пакурина и др., 2013; Пакурина, Платонова, 2014; Платонова, Пакурина, 2012; Платонова и др., 2013).

Как упоминалось ранее, вырубка лесов по берегам рек также вносила долю загрязнения. Обработка, сплав по реке леса вызывали увеличение в воде содержания органического вещества за счет опавшей гниющей коры, затопленных бревен. Закисление воды вносит значительные изменения в функционирование биоты реки.

Реки в области протекают по малоосвоенным территориям, плотность населения которых составляет 0,2 человека на км². Тем не менее, большое воздействие на поверхностные водные источники оказывают предприятия ЖКХ, т.е. это обычные бытовые стоки. Доля загрязненных сточных вод (по данным 2000–2010 гг.) составляют 93% от общего объема, т.е. очищению подвергается только 7% сточных вод (Платонова и др., 2012; Зверева, Крупская, 2012).

Значительная доля загрязнений приходится на одну из ведущих отраслей сельского хозяйства – растениеводство. Заметный источник загрязнения представляет смыл с полей части почвы, содержащей различные нехарактерные примеси. Так, например, по самым скромным подсчетам

талыми и дождевыми водами выносятся до 20% азотистых и 1–2% фосфорных удобрений (Бойченко, 1986). Сельскохозяйственная проблема напрямую связана с загрязнением рек и животноводческими стоками. Животноводческие комплексы, расположенные в каждом поселении вдоль русла реки, в том числе довольно крупные, имеют жижеборники. Нарушение норм содержания животных приводит к залповым сбросам из жижеборников в водоемы, из-за которых гибнет рыба. Водоем надолго выходит из строя, и это явление обычно для малых рек (Рохмистров, 2004; Воронов, 2014). Загрязнение воды, в любой форме, не может не сказываться на качестве и функционировании природных экосистем в целом.

1.3.1. Активная реакция среды

Немаловажное значение в оценке качества воды имеет активная реакция среды, которая сказывается на всех гидробионтах водоема. Физико-химические свойства воды определяют тип организмов, заселяющих реку, плотность, соотношения групп организмов, устойчивость и, в какой-то мере, обуславливают производительность всех последующих звеньев живых организмов, относящихся к второстепенным относительно реки экосистемам.

Постоянство кислотно-основных свойств влияет на протекание в них биологических и физико-химических процессов и обеспечивается наличием буферных систем. Преимущественно, для пресноводных организмов, содержание в воде водородных ионов. Это является одним из важнейших абиотических факторов среды, от которого в значительной степени зависит биологическая доступность элементов питания, миграционная способность, биоразнообразие экосистемы, циркуляция процессов жизнедеятельности организмов (Тарасова, 1988).

Активная реакция воды является одним из важнейших экологических факторов, определяющих границы распространения гидробионтов и характер их жизнедеятельности. Многие исследователи изучали воздействие pH на

обитателей водной среды: водоросли, низких ракообразных, моллюсков, личинок насекомых, рыб и др. Согласно литературным данным, оптимальные границы pH среды для водного населения водоемов комплексного назначения (питьевое, рыбохозяйственное и другое водопользование) равны 6,5–8,5. Как более низкие, так и более высокие показатели pH среды обитания отрицательно влияют на состояние гидробионтов (Дыга, Золотарева, 1983; Моисеенко, 2005; Заличева и др. 2006; Chemical methods., 1983).

Малые реки Зейско-Буреинской равнины входят в водосборный бассейн р. Амур и обеспечивают жизнедеятельность обширных территориальных участков, поэтому данные исследования являются важными для сопоставления и комплексного анализа всех показателей, в том числе водородного.

Исследования каскада водохранилищ, находящихся в агроландшафте, в летний период на р. Гильчин (Амурская область) показали, что в изученных водоемах показатель pH изменялся в довольно широком диапазоне, от 6,2 до 10,4 (Харина, Колесникова, 2009; Харина и др., 2012; Царькова, 2008). По геохимической классификации качество воды водохранилищ в летний период относится к двум классам: нейтральных, слабощелочных ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) и сильнощелочных ($\text{pH} > 8,5$) вод (Перельман, 1989). Данное явление можно объяснить обильным развитием низшей водной растительности в таких водоемах (Обожин и др., 1984). Фотосинтезирующая деятельность фитопланктона в это время была настолько интенсивной, что шло постоянное потребление свободной двуокиси углерода и появились ионы карбоната. Активная реакция оказалась сдвинута до pH 10,4. Изменение pH среды в сторону подщелачивания приводит к ухудшению условий для водных организмов.

В результате проведенного ранее мониторинга на других реках, который охватил ряд искусственных водоемов р. Малый и Большой Алим, было выявлено, что активная реакция воды в исследуемых водоемах находилась в пределах нормы и изменялась в зависимости от количества выпавших осадков

и времени отбора проб. Было показано, что вода водоемов обладает довольно сильными буферными свойствами, которые стабилизируют pH в пределах допустимых значений. Также было показано, что в водоемах, рядом с которыми находятся пастбища и происходит водопой скота, колебания pH достигали 10,4, т.е. наблюдалась тенденция к гипертрофированию.

Водородный показатель в речных экосистемах – явление нестабильное. Сезоны, сопровождающиеся колебаниями температур, промерзанием и излишним нагревом, сильно меняют реакцию среды. На этих изменениях могут сказываться как наличие самих природных осадков, так и степень чистоты этих осадков. Все это создает часть факторов резко континентального характера. Поэтому все составляющие биоту не могут воспринимать естественные пределы изменений как загрязнение (Березина, 2001; Харина и др., 2012).

1.3.2. Органическое вещество в природных водах

На основании многочисленных исследований ряда авторов можно утверждать, что природные воды обладают исключительным разнообразием состава растворенного органического вещества, все зависит от географии и экономики региона (Schnitzer, 1978; Thurman, 1985; Орлов, 1990; Артемьев, 1993; Перминова, 2000; Славинская, Селеменев, 2001; Perdue, 2003; Гаретова и др., 2016).

Вследствие обогащения воды органическими веществами в процессе их деструкции увеличивается содержание углекислоты и уменьшается количество растворенного кислорода. Наиболее полно ухудшение кислородного режима наблюдается в ночное время летом при интенсивном развитии скоплений водорослей и высшей водной растительности (Авакян и др., 1987; Бреховских, 1988). Поэтому устойчивость состояния речной экосистемы возможна при оптимальном объеме живых организмов, соотношения производящих и потребляющих организмов, от которых и будет

зависеть концентрация растворенного кислорода в воде и пределы ее динамики (Вейдеман и др., 1987; Подорванова и др., 1989; Христофорова и др., 2002).

Будучи генетически связанными процессами в природных водах, все показатели качества жизнедеятельности системы реки отражаются, в том числе на состоянии и составе органического вещества (ОВ) (Скопинцев, Гончарова, 1950). Динамика состояний ОВ в природных водах определяется совокупностью процессов продуцирования и деструкции, зависящих от физических и биологических факторов времени года (Вернадский, 1960; Meybeck, 1982; Перельман, 1989; Перельман, Касимов, 1999; Wach, 1998). Органическое вещество природных вод имеет аллохтонное происхождение, когда оно поступает с водосборной площади, и автохтонное, когда образуется в самом водоеме. Органическое вещество малых рек в поверхностных водах находится в растворенном, взвешенном и (или) в коллоидном состоянии даже в местах медленного течения. Такие заводы нужны экосистеме реки, как запасники органических веществ на разной стадии деструкции, что не соответствует процессам в остальных местах реки. Первичная продукция вместе с поступающим в водотоки аллохтонным органическим веществом составляет материальную и энергетическую основу всех последующих этапов продукционного процесса в водном объекте, разных стадий жизненного цикла живых организмов (Винберг, 1960; Wang et al., 2001).

Состав и содержание органических веществ, в природных водах, определяется совокупностью многих различных по своей природе и скорости процессов:

1. Посмертные и прижизненные выделения гидробионтов.
2. Поступление с атмосферными осадками, с поверхностным стоком в результате взаимодействия атмосферных вод с почвами и растительным покровом на поверхности водосбора.
3. Поступление из других водных объектов, из болот, торфяников.

4. Поступление с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами.

С момента таяния реки и схода льдов, т.е. в период весеннего паводка, водные массы реки имеют наименьшее содержание органического вещества. Постепенно, по мере повышения температур возрастает доля органического вещества в реке как в зоне планктона и бентоса, также постепенно насыщается и толща воды. Со второй половины июля начинается интенсивное цветение фитопланктона, этот процесс сопровождается уменьшением содержания кислорода в воде, следовательно, происходит сильное насыщение органическим веществом донной части водоема за счет гибели зообентоса. После окончания периода массового цветения фитобентоса наступает и период его гибели, что сопровождается насыщением как самой воды, так и донных отложений ОВ. С наступлением осеннего периода, с усилением дождевых осадков вся масса ОВ находится уже в иловых отложениях, а поверхностные воды в той или иной мере достаточно хорошо очищаются. Если осеннее похолодание произошло довольно резко, тогда не все ОВ успевает осесть, и часть ОВ замерзает во льдах, образуя темные скопления или окрашивая лед в желтоватый оттенок.

Река Ивановка активно цветет с середины июля до начала августа, но при жарких сухих условиях лета может цвести и до середины августа. Лишь обильные и нехарактерные дожди могут сокращать этот период цветения до третьей декады июля. В береговой части иловые отложения в среднем незначительны, толщиной до 5 см, по мере отдаления от берега вглубь реки могут увеличиваться до 10 см. Но это явление не повсеместно. Есть участки со значительным скоплением – это донные отложения Романовского водохранилища, чуть менее – в отложениях Анновского водохранилища. На остальных участках реки с узким руслом, а значит, с большей скоростью течения иловых отложений меньше.

ОВ может поступать со стоками после выпадения осадков, смывами сточных вод, сельскохозяйственных и промышленных сбросов (Гончарова и

др. 1968; Steinberg, 2003; McDonald et al., 2004). Так, в состав речных вод входят карбоновые и оксикарбоновые кислоты алифатического ряда, спирты, альдегиды, фенолы, редуцирующие сахара, гуминовые кислоты и фульвокислоты, концентрации которых изменяются в широких пределах. Часть этих веществ поступают как в составе просто загрязнителей, так и как продукты распада в почвенных слоях береговой части суши. Обогащение ОВ воды в реках происходит за счет притоков из болот и залитых лугов. Болота – это постоянная деструкция. Относительно р. Ивановка можно отметить, что заболоченных участков береговой части с образованием прибрежных прудов немного. Только в районе п. Екатеринославка имеется широкий разлив с образованием трясины и отстойной воды, где с самого начала значительного прогрева таких мелководий (а это середина июня) начинается обильное образование органического вещества с дальнейшим поступлением в реку. Возле с. Анновка равнинные и низкие берега. В период дождей они бывают залиты водой. Эти стоки вносят органическое вещество, которое было образовано за счет помета кормящегося скота, деструкции травянистого покрова и временами с долей загрязнителей со стороны села и животноводческой фермы.

Концентрация растворенного органического вещества подвержена сезонным колебаниям, характер которых определяется гидрологическим режимом р. Ивановка и связанной с ней сезонной вариацией химического состава, временных изменений интенсивности биологических процессов. Можно сделать вывод, что в придонных слоях водоемов и поверхностной пленке содержание органического углерода может значительно отличаться от его содержания в остальной массе воды. Органические вещества находятся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Это образует некоторую динамическую систему, в общем неравновесную, в которой под воздействием физических, химических и биологических факторов непрерывно осуществляются переходы из одного состояния в другое (Авакян и др., 1987; Бреховских, 1988; Левшина, Жуков, 2004; Левшина, Матюшкина, 2005;

Левшина, 2005; Hydra et al., 1984).

Отклонение от нормы концентрации разного характера ОВ сказывается на жизнедеятельности живых гидробионтов (Скопинцев, Гончарова, 1987). Массовое поступление растворенного органического вещества с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами может в короткие сроки вызывать мор рыбы. Это то, что может быть заметным, но такое отравление воды влечет за собой не только гибель животных, но и микроорганизмов. Самой уязвимой частью, является микробиологический фитоценоз. Это основная часть водной биоты, обеспечивающей ее баланс. При нарушении состояния фитоценоза, в целом может быть затруднено восстановление жизнедеятельности водной биоты на протяжении от месяца до нескольких лет. Водные организмы разных систематических групп проявляют неодинаковую чувствительность к содержанию в воде органических веществ и продуктов их разложения. Возможность приспособления гидробионтов к существованию в среде с разным уровнем содержания органического вещества обуславливается комплексом физиолого-биохимических процессов, которые постоянно протекают в их организмах. Бактерии, грибы, отдельные виды водорослей, простейшие животные имеют определенный уровень адаптаций к колебаниям ОВ в воде (Гаретова, Лешина, 2006; Гаретова, Лешина, 2007; Aschan, 1908; Alberic et al., 2000), и диапазон этих возможностей имеет географическую специфику. Часть водных микроорганизмов питается растворенными органическими веществами, гниющими остатками, экскрементами и могут жить в воде с невысоким содержанием кислорода. Некоторым нужна высокая концентрация определенных веществ и т.д. Видовая структура группировок гидробионтов в зависимости от их чувствительности к органическому загрязнению водоемов четко выявлена на биоценотическом уровне (Христофорова и др., 2015). Динамика развития продуцирующих организмов будет иметь пикообразную картину в течение летних месяцев, т.е. по мере прогревания водных масс достигать пика численности к середине лета и затем постепенно

снижаться, тем самым обогащая автохтонный прирост органического вещества в воде. Иная картина с оценкой степени активности и численности деструкторов. В целом оценка интенсивности содержания органических веществ по наличию в водоемах представителей отдельных систематических групп гидробионтов с разной степенью гетеротрофности и оксифильность-показательных организмов является одним из способов индикации долевого содержания как самих ОВ, так и типов самих деструкторов.

Таблица 2

Основные феноменологические признаки зон сапробности
(по Кольквитц, Марссон, 1908)

Зона	Баланс кислорода и органического вещества	Преобладающие виды гидробионтов
1	2	3
Олигосапробная зона	- Практически чистые водоемы: цветения не бывает, содержание кислорода, и углекислоты не колеблется. - На дне мало детрита, автотрофных организмов и бентосных животных (червей, моллюсков, личинок хирономид).	Встречаются водоросли <i>Melosira itallica</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i> и <i>Draparnaldia plumosa</i> , коловратка <i>Notholka longispina</i> , ветвистоусые рачки <i>Daphnia longispina</i> и <i>Bythotrephes longimanus</i> , личинки поденок, веснянок, рыбы стерлядь, голянь, форель.
β-мезосапробная зона	- Содержание кислорода и углекислоты колеблется в зависимости от времени суток: днем избыток кислорода, дефицит углекислоты; ночью – наоборот. - Нет нестойких органических веществ, произошла полная минерализация. - Ил желтый, идут окислительные процессы, много детрита.	- Много организмов с автотрофным питанием, высокое биоразнообразие, но численность и биомасса невелика. - Наблюдается цветение воды, так как сильно развит фитопланктон. Сапрофитов – тысячи клеток в 1 мл, и резко увеличивается их количество в период отмирания растений. - Встречаются: диатомовые водоросли <i>Melosira varians</i>, <i>Diatoma</i>, <i>Navicula</i>; зеленые <i>Cosmarium</i>, <i>Botrytis</i>, <i>Spirogira crassa</i>, <i>Cladophora</i>; много протококковых водорослей. Впервые появляется роголистник <i>Ceratophyllum demersum</i>. Много корненожек, солнечников, червей, моллюсков, личинок хирономид, появляются мшанки. Встречаются ракообразные и рыбы.

Продолжение таблицы 2

1	2	3
α-мезосапробная зона	• Протекают окислительно-восстановительные процессы, начинается аэробный распад органических веществ, образуется аммиак, углекислота; • Кислорода мало, но сероводорода и метана нет. • БПК₅ составляет десятки миллиграмм в литре. • Железо находится в окисной и закисной формах. • Ил серого цвета, в нем содержатся организмы, приспособленные к недостатку кислорода и высокому содержанию углекислоты.	• Преобладают растительные организмы с гетеротрофным и миксотрофным питанием. • Количество сапрофитных бактерий определяется десятками и сотнями тысяч в 1 мл. • Отдельные организмы развиваются в массе: бактериальные зооглеи, нитчатые бактерии, грибы, из водорослей – осциллятории, стигеоклониум, хламидомонас, эвглена. • Встречаются в массе сидячие инфузории (<i>Carchesium</i>), коловратки (<i>Brachionus</i>), много окрашенных и бесцветных жгутиковых. В илах много тубифицид (олигохеты) и личинок хирономид.
Полисапробная зона	• Дефицит кислорода: он поступает в поверхностный слой только за счет атмосферной аэрации и полностью расходуется на окисление. • В воде содержится значительное количество нестойких органических веществ и продуктов их анаэробного распада, в основном белкового происхождения, а также сероводород и метан. • Процессы фотосинтеза угнетены. На дне кислорода нет, много детрита, идут восстановительные процессы, железо присутствует в форме FeS.	• Очень много сапрофитной микрофлоры. • Хорошо развиты гетеротрофные организмы: нитчатые бактерии (<i>Sphaerotilus</i>), серные бактерии (<i>Beggiatoa</i>, <i>Thiothris</i>), бактериальные зооглеи (<i>Zoogloea ramigera</i>), простейшие – инфузории (<i>Paramecium putrinum</i>, <i>Vorticella putrina</i>), бесцветные жгутиковые, олигохеты <i>Tubifex tubifex</i>, водоросль <i>Polytoma uvella</i>.

Основные признаки такой классификации заключаются в распределении по четырем классическим зонам сапробности (Kolkwitz, Marsson, 1908; Kolkwitz, Marsson, 1909; Mac Gillivray, 1994).

Согласно данной классификации по степени деструктивной активности, можно сказать, что преобладание олигосапробной группы микроорганизмов в р. Ивановка приходится на период после половодий, т.е. начало лета. Затем последовательно наступают периоды преобладания α - сапробов, β – сапробов. Примечательной является группа полисапробов, которая с незначительными колебаниями в численности может преобладать в разные летние месяцы в зависимости от условий конкретного года и присутствует в большом количестве на протяжении второй половины лета (табл. 2).

Загрязнения ОВ водоемов могут значительно изменять естественную картину цикличности и функционирования биоты водоема. С увеличением антропогенной нагрузки на водные экосистемы с внесением аллохтонных ОВ происходит увеличение темпов эвтрофирования под воздействием хозяйственной деятельности. Так, например, исследования оз. Чиртово (Нижегородская область, Россия) показали, что в результате поступления стоков от крупного свиноводческого комплекса общая численность бактериального населения увеличилась в несколько раз, а группа гетеротрофных микроорганизмов возросла в 50–1000 раз (Шилькрот, 1976).

1.3.3. Содержание основных биогенных элементов

По общебиологическому определению биогенные элементы – это химические элементы, постоянно входящие в состав живых организмов и выполняющие определенные биологические функции. Биологически значимые элементы классифицируют на макроэлементы (содержание которых в живых организмах составляет больше 0,01%) и микроэлементы (содержание менее 0,001%). Поэтому важнейшими биогенными элементами являются: кислород – 65%, углерод – 18%, водород – 10%, азот – 3%, более 1% – фосфор, кремний и железо, марганец. Биогенные элементы, необходимые организмам в ничтожных количествах, – бром, йод, кобальт,

медь, молибден, селен, фтор, хром, цинк.

Содержание минеральных и органических форм азота, фосфора, кремния, железа (которые составляют группу так называемых биогенных элементов или веществ) изменяется по сезонам, годам, в зависимости от объемов акваторий и глубине водоема (Руководство по химическому..., 2003; Макиша, 2011; Shane Schoepfer, 2015). Биогенные вещества (БВ) способствуют интенсивному развитию фитопланктона («цветению» воды), стимулируют рост нежелательных водных организмов, вызывают прогрессирующую эвтрофикацию (содержание в воде питательных веществ и первичной продукции) водных объектов, приводят к нарушению или замедлению процессов самоочищения (Комплексное использование..., 1985).

Поступление биогенных веществ происходит из двух основных источников: со сбросом неочищенных сточных вод (во всем мире только несколько очистных сооружений удаляют фосфор, хотя эта технология разработана) и со смывом удобрений с сельскохозяйственных полей, где они часто применяются в излишних количествах. Эрозия почв, смыл с водосбора, отходы животноводческих ферм, чрезмерное применение удобрений, городские, индустриальные стоки и детергенты – все это вносит определенный вклад в процесс искусственного эвтрофирования водоемов (Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990).

Биогенный состав компонентов речных вод сложен и характеризуется разнообразием в содержании отдельных биогенных веществ и их форм – растворенных и взвешенных, органических и минеральных. Они активно вовлекаются в оборот гидробионтами и при развитии физико-химических, химических и биохимических процессов способны переходить из одной формы в другую. Существенное поступление органических и взвешенных соединений биогенных элементов в речные воды происходит и за счет отмирания и распада клеток самих гидробионтов, их прижизненных выделений с промышленными, сельскохозяйственными, хозяйственно-бытовыми сточными водами, при обмене биогенным веществом на границе

вода – дно (Хажаяева, 2012).

Как и любой вид антропогенной деятельности, влияние сельского хозяйства как источника поступления биогенных веществ в водные ресурсы возрастает с объемами распаханности территорий, трансформации угодий мощной техникой, развитием процессов химизации на основе как минеральных, так и органических удобрений. Эти факторы вызывают изменение величины и направленности потоков биогенных веществ в агроландшафте (Тышкевич, 1991; Шестеркин, 1992).

Содержание отдельных биогенных веществ, в стоке, зависит от их взаимодействия с почвой. Попадая в почву, они участвуют в многочисленных физико-химических и микробиологических процессах, претерпевая различные превращения. Например, фосфор малоподвижен, вымывается в меньших дозах, чем азот и достаточно прочно удерживается почвами любого характера. Особенно быстро он поглощается почвами тонкодисперсного состава (глинами, суглинками). В верхнем слое закрепляется 80% фосфора, причем глубина проникновения не превышает 7–8 см. Остаток полностью поглощается нижележащими слоями почвы благодаря образованию труднорастворимых солей фосфорной кислоты с железом, алюминием или кальцием. Иначе ведут себя соединения азота, которые отличаются высокой подвижностью и легко мигрируют в почве. Это объясняется тем, что нитратный азот находится в почвенном растворе, не образуя каких-либо труднорастворимых солей и не взаимодействуя с отрицательно заряженными коллоидами почвы. При избытке влаги азотные соединения могут достигать и подземных вод. При уменьшении количества влаги, при повышенной засушливости климата, с восходящими ее потоками эти соединения выносятся на поверхность (Кутырин, 1988).

Угрозу водным источникам представляют стоки силосных ям. В силосном стоке с большим количеством органических веществ содержатся микроэлементы, прежде всего марганец и железо. При попадании значительной части силосного сока в водоемы возможна гибель рыб

(Агрохимикаты., 1979; Львович, 1963).

Среди растворенных веществ особое место занимает азот, присутствие именно минеральных форм которого ухудшает качество воды и определяет в значительной мере биологическую продуктивность гидробионтов (Шестеркин, Шестеркина, 2014). Азот относится к числу важнейших лимитирующих биогенных элементов, он может находиться в природных водах в виде свободных молекул N_2 и разнообразных соединений в растворенном, коллоидном или взвешенном состоянии. В общем азоте природных вод принято выделять органическую и минеральную формы. Основным источником поступления азота являются внутриводоемные процессы, газообмен с атмосферой, атмосферные осадки и антропогенные источники. Различные формы азота могут переходить одна в другую в процессе круговорота азота. Высокое содержание азота ускоряет процессы эвтрофирования водных объектов (Свергузова и др., 2011; Черников и др. 2004). Повышенное содержание нитратов в воде может служить индикатором загрязнения водоема в результате распространения фекальных либо химических загрязнений (сельскохозяйственных, промышленных). Богатые нитратными водами сточные каналы ухудшают качество воды в водоеме, стимулируя массовое развитие микробного сообщества реки, а продукты их жизнедеятельности и некоторой части водной растительности, тем самым ускоряют всю эвтрофикацию водоема (Практическое руководство., 2006; Шестеркин, 1994).

По содержанию азота нитритов, нитратов и аммония можно судить не только о степени загрязненности воды, но и о протекании процессов самоочищения. По мере самоочищения водоема увеличивается содержание NO_3 -иона при одновременном снижении концентрации NH_4^+ -иона.

NO_2 ионы – это промежуточная форма окисления. Они обычно присутствуют в воде, в незначительном количестве. Преобладание в воде NO_3 -иона указывает на завершение окисления органических примесей и значительный срок, истекший с момента загрязнения водоема. При

недостатке растворенного кислорода идет денитрификация: восстановление нитратов до NH_4^+ -иона (Соколов и др. 1988). Содержание форм азота в весенне-раннелетний период отражает равновесие процессов разложения органического вещества и последующего поглощения элементов как наземной, так и водной биотой. Усиление биотического поглощения в водотоках в теплый период приводит к минимализации содержания нитратной и аммонийной формы азота (Луценко и др., 2013).

Изменение соотношения восстановленной и окисленной форм азота связано с уменьшением поступления органического вещества, изменением характера процессов его трансформации, более глубоким окислением, а также с сокращением промышленного и особенно сельскохозяйственного производства, в частности, снижением применения минеральных и органических удобрений. При естественном круговороте азота в речных водах нитратный азот присутствует в воде в незначительных количествах, а нитритный азот, как правило, из-за нестойкости отсутствует, или обнаруживается в виде незначительных следов (Никаноров и др., 2010).

В природных водах фосфор находится в виде органических и неорганических соединений. Основная масса фосфора находится во взвешенном состоянии. Соединения фосфора поступают в воду в результате внутриводоемных процессов, выветривания и растворения горных пород, обмена с донными отложениями и из антропогенных источников. Значительная доля фосфора, по нашим наблюдениям, может поступать с прилежащих лугов с золой после весеннего пала. В отличие от азота, круговорот фосфора не сбалансирован, что определяет его более низкое содержание в воде. Поэтому фосфор наиболее часто оказывается тем лимитирующим биогенным элементом, содержание которого может определять характер продукционных процессов в водных объектах (Руководство по химическому..., 2003; Свергузова и др., 2011; Blazka, 1989; Shane Schoepfer, 2015).

Поведение фосфора в водах более сложное, чем нитратов. Нагрузка

речного стока по фосфору в несколько раз превосходит природную из-за промышленных и сельскохозяйственных стоков и попадающих в реки детергентов, содержащих полифосфаты. В водотоках существуют своеобразные небиологические буферные механизмы, способные снижать высокую концентрацию фосфатов ($P-PO_4^{3-}$) и увеличивать низкую до среднего уровня. Этот механизм представлен в виде процессов сорбции и десорбции фосфата на взвеси. При определенных кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условиях создаются такие зоны, в которых фосфат удаляется из воды, а в донных отложениях повышается его концентрация за счет десорбции его из взвеси (Хажеева, 2012).

Уровни содержания фосфора свидетельствуют о качестве водной среды, о происходящих в экосистеме процессах, а также указывают на источник загрязнения водоема. Избыточное поступление фосфатов в прибрежные воды сопровождается «цветением» планктонных водорослей, в том числе сине-зеленых, на разложение которых расходуется растворенный кислород. Прижизненные и посмертные выделения сине-зеленых водорослей загрязняют воду токсичными веществами, что угнетающе действует на экосистемы, вызывает гибель многих гидробионтов и, в конце концов, пагубно влияет на здоровье человека. Обычно максимальные концентрации органических и минеральных фосфатов в водоемах наблюдаются ранней весной, что связано с поверхностным смывом с суши и поступлением фосфора из донных отложений. С повышением температуры воды и развитием продукционных процессов наблюдается увеличение концентраций органического фосфора и снижение ортофосфатов, расходуемых на создание органического вещества (Шишкина, 1974; Долговременная программа..., 1993; Евсеева, 2004).

Повышенные концентрации фосфора отмечаются в воде рек, водосборы которых были пройдены лесными пожарами (Hauer, Spencer, 1998; Шестеркин, Шестеркина, 2002). В условиях полного выгорания растительного и почвенного покрова до коренных пород основным

источником обогащения водных потоков фосфором является зола и обуглившиеся растительные остатки. Так, например в бассейне р. Анюй Хабаровского края, в воде малых рек (Забытый, Завальный, Горелый), на поверхности водосборов которых в 1998 г. горел лес, содержание фосфора составляло от $<0,010$ до $0,025$ мг Р/дм³ (в среднем $0,013$ мг Р/дм³), что в 2 раза выше, чем в воде фоновых рек (Куптурку и Малый Эртукули), на водосборах которых лес не горел (Форина, 2013).

К биогенным элементам, которые присутствуют в природных водах, также относятся железо и марганец. В речной воде железо находится в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Во взвешенную форму принято выделять частицы с размером более $0,45$ мкм, представляющие собой железосодержащие минералы и сорбированные на взвеси соединения железа. Растворенное железо может находиться в ионной форме, в виде комплексных соединений с минеральными и органическими веществами. На содержание и соотношение форм железа большое влияние оказывают значения водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (Еh), концентрации органических кислот, растворенного кислорода, сероводорода, диоксида углерода, число микроорганизмов, окисляющих и восстанавливающих железо. Для обозначения суммарной концентрации растворенных форм железа используют термин «железо общее», ПДК которого в воде для рыбохозяйственных объектов составляет $0,1$ мг/л (Кольцов, 1995).

Многие водные объекты Приамурья, по данным Росгидромета, характеризуются высоким содержанием железа общего (растворенного). В воде Амура в 2009 г. наибольшая его концентрация составляла $1,64$ мг/л, в 2010 г. – $1,71$ мг/л (Государственный доклад..., 2010). По данным Шамова (2008), повышенные концентрации железа в амурской воде в 1996–1998 гг. (до $2,75$ мг/л) связаны с деградацией мерзлоты. Наблюдения АГБУН Института водных и экологических проблем ДВО РАН в 2012–2014 гг., напротив, свидетельствуют о более низких на порядок значениях (Шестеркин

и др., 2013).

Марганец относится к группе тяжелых металлов. Предельно допустимые концентрации в водоемах культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения – 0,1 мг/л, в водоемах рыбохозяйственного назначения – 0,001 мг/л. В биосфере марганец играет важную роль. Он способствует утилизации CO_2 растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота растениями. Марганец способствует переходу активного двухвалентного железа в трехвалентное, что предохраняет клетки от отравления и ускоряет рост организма (Крамаренко, 1989). Поступление марганца в водные источники – естественный процесс. Марганец широко распространен в природе и содержится как в земной коре, так и в водах морей и рек. Содержание марганца в земной коре оценивается около 0,1%, где он находится в рассеянном состоянии и в форме Mn^{2+} . Встречаются скопления кислородных соединений марганца, главным образом в виде минерала пиролюзита – MnO_2 (Химическая энциклопедия., 1995).

Антропогенные пути поступления марганца в окружающую среду включают производственные и коммунальные сточные воды. Подпитка рек из подземных источников не оказывает большого влияния на загрязнение их марганцем. Роль соединений Mn в водных экосистемах зависит от его концентрации в воде: при концентрациях $<0,1$ мг/л Mn стимулирует фотосинтез и защищает клетки от свободных радикалов, при более высоких концентрациях – задерживает рост водорослей (Романовский, 1966). По содержанию биогенных элементов можно судить не только о степени загрязненности воды, но и о протекании процессов самоочищения.

1.4. Использование метода биоиндикации в оценке состояния малых рек

Наиболее традиционными и продолжительными являются химические методы оценки содержания различных компонентов в воде. Одним из комплексных подходов к анализу качества среды является микробная индикация, позволяющая дать не только качественную, но и количественную оценку содержания различных загрязняющих веществ в воде. Это позволяет выявить микроорганизмы – деструкторы различных поллютантов, играющие важнейшую роль в процессе самоочищения водоемов (Журавель, 2004). Метод микробной индикации основан на способности микроорганизмов использовать в качестве единственного источника углерода специфические органические соединения, а также выживать и размножаться в среде, содержащей высокие концентрации тяжелых металлов. Таким образом, в случае хронического загрязнения вод каким-либо поллютантом формируются специфические микробоценозы, которые состоят из резистентных бактерий, активнее развивающихся в загрязненных водах (Сорокин, 1985; Цыбань и др., 1990; Олейник и др., 1996; Журавель, 2004). Трудно переоценить роль микробной индикации в системе мониторинга, поскольку в нынешних условиях ни один метод не обеспечивает столь комплексной оценки ситуации в водной среде в краткие сроки при сравнительно небольших затратах (Кондратьева и др., 2000; Кондратьева, Чухлебова, 2005). Жизнедеятельность бактериального населения толщи вод и донных отложений настолько многообразна и всеобъемлюща, что большинство исследователей считают водные микроорганизмы основным фактором, формирующим качество воды (Гак, 1975; Константинов, 1977; Романенко, Кузнецов, 1970; Романенко, 1985; Ермолин, 1986; Гаретова, 2008).

Биологический анализ качества природных вод может производиться по разным системам оценки и классификациям (Александрова и др., 1985). Вновь поступающие загрязняющие соединения вызывают серьезные нарушения в функционировании всех водных биоценозов, при этом выпадают отдельные

звенья в трофической цепи, нарушается целостность экосистемы. Ранее аккумулярованные и вновь поступившие загрязнители водных экосистем вовлекаются в многочисленные микробиологические процессы с качественно и количественно неконтролируемым выходом промежуточных или конечных продуктов, определяющих жизнеспособность и физиологическое состояние гидробионтов, органолептические свойства воды (Илялетдинов, 1966; Кондратьева и др., 2000).

Поверхностные воды (пресноводные водоемы и водотоки) являются наиболее важными для жизнедеятельности человека. Исследование вод и донных отложений экосистем водных объектов важно с точки зрения изучения их токсического действия, так как известна общая тенденция последнего времени, активное распределение токсикантов в водной среде и аккумуляция их в донных отложениях. Биоиндикация – качественная оценка параметров среды обитания и ее отдельных характеристик по соотношению биоты в природных условиях (Большой практикум..., 1962; Биоиндикация..., 1991).

Понятие «биоиндикация», включающее условия сравнения результатов, применяется исключительно для зависящей от времени оценки антропогенных или испытывающих антропогенное влияние факторов среды на основе изменения количественных характеристик биологических объектов и систем. Организм или сообщество организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки, и называются биоиндикаторами (Макрушин, 1974; Макрушин, 1978; Кутинова, 1976, Кутинова, 1970; Кутинова, 1984; Sladecsek, 1973). Ранее аккумулярованные и вновь поступившие загрязнители водных экосистем вовлекаются в многочисленные микробиологические процессы с качественно и количественно неконтролируемым выходом промежуточных или конечных продуктов, определяющих жизнеспособность и физиологическое состояние гидробионтов, в том числе органолептические свойства воды (Кондратьева и др., 2000).

Микроорганизмы – информативная группа биоиндикации при оценке состояния среды обитания гидробионтов в искусственных условиях. Изменения разнообразия гетеротрофных микроорганизмов в составе водных микробных сообществ, связаны с температурным режимом и с концентрациями органических веществ (Дзюба и др., 2015). Ведущую роль в круговороте веществ играют сапрофитные гетеротрофные бактерии, их основной функцией является деструкция органических веществ. Они осуществляют процессы реминерализации, благодаря чему биогенные соединения вновь становятся доступными для первичных продуцентов (Громов, 1989; Рубцова, 2002; Воронова, 2005).

По изменению численности отдельных эколого-физиологических групп водных микроорганизмов можно выявить специфику биохимических процессов в поверхностных и придонных слоях воды, обусловленную присутствием различных форм органических веществ (ОВ), в том числе природного и антропогенного происхождения (Микроорганизмы., 2000). Процессы аммонификации и нитрификации происходят наиболее активно в прибрежной контактной зоне в период максимальных температур. Максимальная численность аммонифицирующих бактерий может быть связана с лучшим прогреванием воды и благоприятными условиями для развития водных организмов (Сиренко, Козина, 1988). Определяющим фактором качества природных вод являются водные микроорганизмы, поэтому их состав и определяет степень чистоты, вкусовые и другие свойства и их использование (Гак, 1975; Константинов, 1977; Романенко, 1985; Ермолин, 1986; Кондратьева и др., 2000). Нельзя исключить и деструктивную роль микроорганизмов во всех средах жизни. Так, относительно речных экосистем в исследованиях Громова (1989), Рубцовой (2002) доказано, что сапрофитные и гетеротрофные бактерии в процессе реминерализации органического вещества приводят к его деструкции и делают доступным для первичных продуцентов.

За динамикой численности гетеротрофного бактериопланктона (ОЧГБ) водотоков Хабаровского края с различной степенью антропогенной нагрузки многолетние наблюдения (1999–2007) проводились Л.А. Гаретовой, С.И. Левшиной (2006; 2007). Выявлено, что при снижении или исключении антропогенного воздействия на водные экосистемы горно-таежных рек (на примере р. Анюй) качество их вод восстанавливается за достаточно короткий промежуток времени (Гаретова, 2008).

Существуют некоторые особенности явления самой деструкции в зависимости от условий среды. В ходе исследований Л.А. Сиренко, В.Н. Козина (1988) выявлена закономерность – при максимальной численности аммонифицирующих бактерий (АМБ) в зоне прогреваемых прибрежных вод при максимальных температурах процессы аммонификации и нитрификации происходят более интенсивно. В переходный период от весеннего половодья к летней межени русла рек заполняются довольно минерализованными почвенно-грунтовыми водами, насыщенными не только естественными солями, но и солями минеральных удобрений, ядохимикатами, продуктами органического распада (Государственный доклад..., 2010).

Создание научной основы рационального использования ресурсов природных вод невозможно без изучения жизнедеятельности микроорганизмов, определения их роли в процессе самоочищения водоемов. В последнее время при оценке качества природных вод метод биоиндикации является наиболее эффективным, в последнее время все шире входит в практику многих исследователей.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1.1. Климат

Амурская область располагается на юго-востоке Российской Федерации в азиатской части и входит в состав Дальневосточного федерального округа. Область лежит в умеренном географическом поясе, между 49° и 57° северной широты. В Амурской области преобладает горный рельеф, развитый преимущественно в северной, центральной и восточной частях и составляет 60% территории. Равнинные участки занимают 40% территории (Государственный..., 2014).

Амурская область характеризуется неустойчивым гидротермическим режимом муссонного климата, коротким безморозным периодом, поздним возвратом холодов весной и ранним понижением температур осенью, неравномерным распределением тепла и влаги, резкими колебаниями дневных и ночных температур. Зима в основных районах суровая и продолжительная. Для нее характерно малое количество осадков, небольшой снежный покров, высокая инсоляция, низкие температуры. Среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца в сельскохозяйственных зонах колеблется от -24°С до -28°С, минимальная – в пределах 42–52°С. Глубина промерзания почвы на юге до 2,5 м.

Весна, как правило, холодная, затяжная и сухая. Однако периодически наблюдаются годы с сильным весенним переувлажнением. Количество осадков за март-май не превышает 70 мм или 18% среднегодового показателя. Снежный покров исчезает в период с 12 марта по 21 апреля. На протяжении двух месяцев происходит равномерное потепление. В мае и первой декаде июня наблюдаются большие колебания температуры воздуха в течение суток: днем она повышается до +25°С, а ночью могут быть заморозки (Система

земледелия., 2016).

Лето влажное и жаркое. В этот сезон выпадает 300–450 мм или до 75% годовой нормы осадков, преимущественно в июле. Число летних дней с осадками в июле достигает 20–25, что затрудняет проведение многих сельскохозяйственных работ. Среднесуточная температура воздуха $+21,1^{\circ}\text{C}$ (в июле). Ночью характерны спады температуры до $+5 - +7^{\circ}\text{C}$. Первая половина осени обычно бывает влажная, теплая, вторая – сухая. Осадков выпадает до 22% годовой нормы, преимущественно в сентябре, в это время количество осадков нередко превышает 100 мм и может достигнуть уровня 170–195 мм. По температурному режиму колебания по годам менее значительны. Сумма активных температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ в южной зоне области и составляет $21,6-23^{\circ}\text{C}$ (Система земледелия., 2016).

Следовательно, в основных сельскохозяйственных районах области наблюдается относительно короткий период вегетации, недостаток влаги в мае, избыток осадков – в июле-августе. Выпадение осадков приводит к возникновению поверхностного стока, качественный состав которого определяется как самими осадками, так и интенсивностью хозяйственной деятельности в пределах площади водосборов. Эти факторы могут оказывать влияние на гидрохимический режим водоемов, вызывая значительные колебания химических показателей качества воды. В работе приводятся результаты исследований за 2011–2013 гг. Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по количеству и распределению по месяцам выпавших осадков и температуре воздуха. Для более детального изучения метеорологических условий выбраны МС г. Благовещенска и МС п. Екатеринославка. В зависимости от участка отбора проб воды, которые расположены в трех районах области. Метеорологические условия 2011 г. были сложными – весна была поздней, затяжной, с резкими перепадами температур, неравномерным распределением осадков. Первая половина весны была преимущественно сухой, вторая – дождливой. Среднесуточная температура воздуха за апрель-май составила $2-5^{\circ}\text{C}$ тепла, что выше нормы на

1–2°C. Осадков за весенний период выпало 17–119 мм – это 80–153% нормы.

Май характеризовался теплой и дождливой погодой. В первой декаде мая среднедекадная температура воздуха превышала норму на 2–4°C, во второй декаде в пределах нормы и выше на 1–3°C, в третьей декаде выше на 1–3°C. Понижение среднесуточных температур на 3–7°C отмечалось в конце первой, второй декаде мая, в третьей декаде мая – в начале и в конце декады. Среднемесячная температуры воздуха была выше нормы на 1–2°C и составила по территории области 10–13°C тепла (рис. 1–2).

Осадков за месяц выпало больше нормы. За месяц наблюдалось 7–11 дней с дождем. Максимальное количество осадков выпало в северо-западных, центральных, юго-западных, юго-восточных районах области и составило 84–123 мм, что в 2–2,5 раза превышало месячную норму (рис. 3–4).

Летний период 2011 г. характеризовался необычно теплой погодой. Лето началось раньше климатических сроков. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 15°C отмечен в большинстве районов 23–26 мая, раньше среднемноголетних дат на 4–15 дней. Для лета были характерны сильный ливневый дождь, сильный ветер. Средняя за сезон температура воздуха составила 17–22°C, что выше нормы на 1–3°C. Необычно жарким были июль и начало августа. Воздух днем в этот период прогревался до 28–37°C. Среднесуточные температуры воздуха варьировались в пределах 18–28°C, что выше нормы на 1–8°C. Прохладно было в середине августа, среднесуточные температуры понижались до 13–17°C тепла.

За три летних месяца дожди шли часто, по территории области распределялись неравномерно и с разной интенсивностью носили ливневый характер, сопровождалась грозами и шквальным ветром. За этот период с дождем наблюдалось 25–38 дней. Сумма выпавших осадков за лето составила 203–435 мм, это в пределах 70–120% нормы. В течение летнего периода относительная влажность воздуха повышалась до 70–90%.

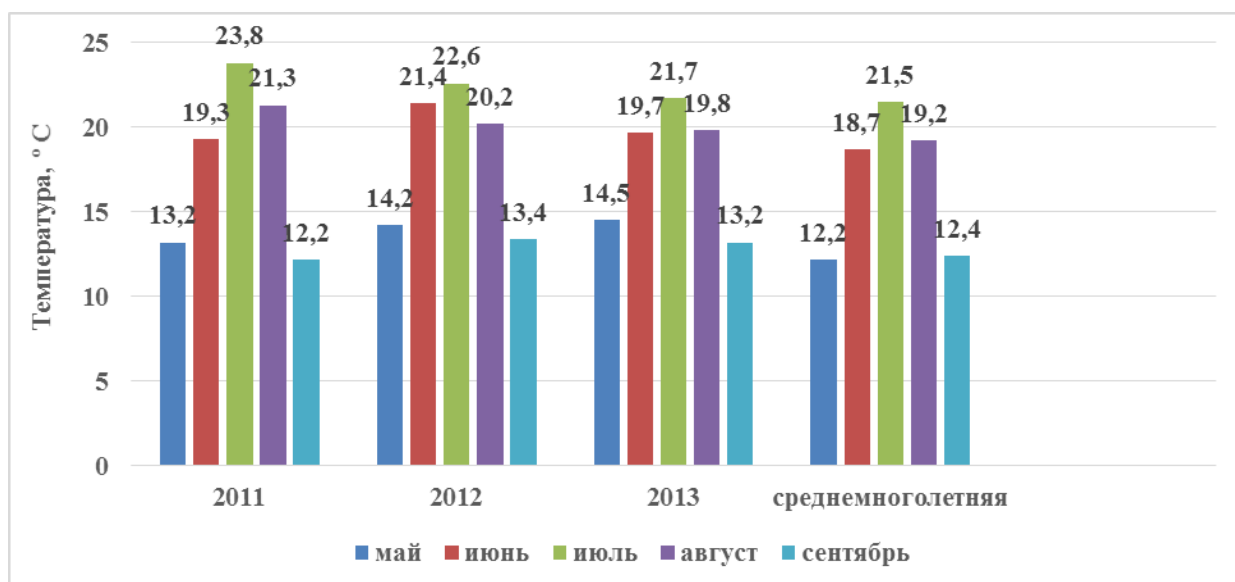


Рисунок 1 – Среднедекадная, среднемесячная температура воздуха за 2011–2013 гг. по данным Амургидрометеоцентра (МС г. Благовещенска).

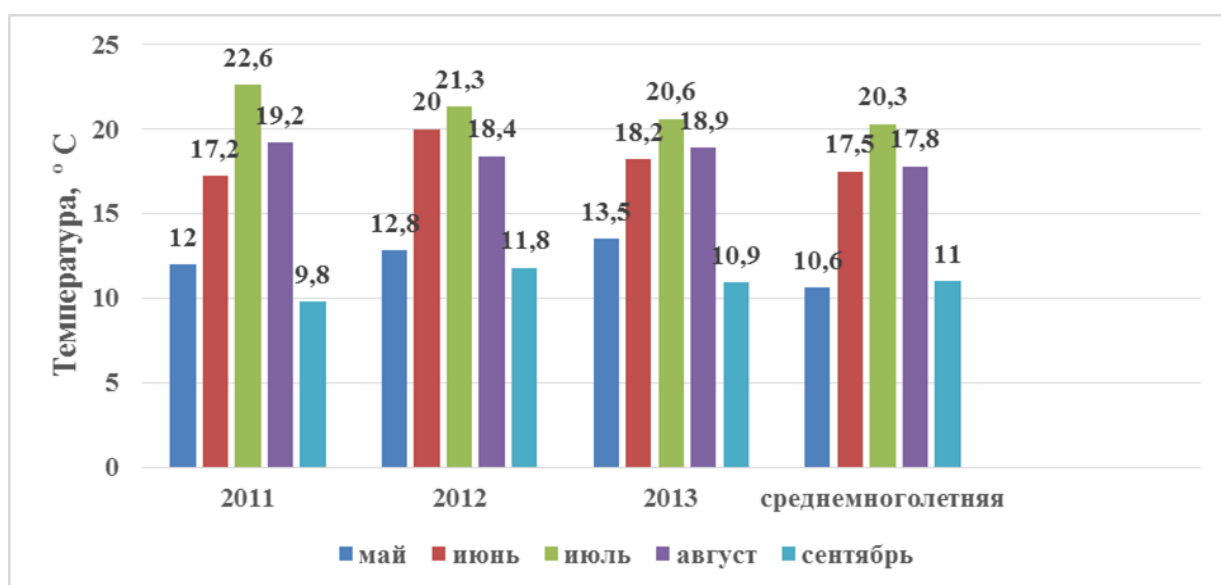


Рисунок 2 – Среднедекадная, среднемесячная температура воздуха за 2011–2013 гг. по данным Амургидрометеоцентра (МС п. Екатеринославка).

Характерные особенности осени – холодный сентябрь и очень теплый октябрь. Сентябрь этого года характеризовался холодной с осадками погодой. Первая декада была холоднее на 1–3°C, вторая и третья декады сентября были в пределах средненоголетней нормы и ниже нормы на 1–2°C. В целом, среднемесячная температура воздуха составила в северо-западных районах 5–9°C тепла, ниже нормы на 1°C и в пределах средненоголетней нормы.

Осадки выпадали в каждой декаде сентября. Максимальное количество осадков за месяц выпало в Тындинском, Зейском районах – 49–56 мм, что составляет 65–78% нормы. На остальной территории осадков выпало 20–50 мм, 28–63% нормы. Продолжительность осеннего периода составила в северо-западных районах 52–53 дня, что в пределах среднемноголетней нормы и больше на 3–6 дней; в центральных, южных районах области – 64–65 дней, что больше среднемноголетней нормы на 14–18 дней.

Весна 2012 г. была поздней, затяжной, с резкими перепадами температур, неравномерным распределением осадков. Первая половина весны и вторая половина мая были сухими. Дождливая погода была в третьей декаде апреля и первой декаде мая в центральных, южных районах, в третьей декаде мая – в северо-западных, центральных районах области. Осадков за весенний период выпало в южных районах 44–70 мм. Среднесуточная температура воздуха за апрель-май составила в южных районах, 7–9°C. Май характеризовался повышенным температурным фоном и небольшим количеством осадков. В первой декаде мая среднедекадная температура воздуха превышала норму в северо-западных, центральных районах области на 2–3°C. Во второй и третьей декаде мая температура была в пределах нормы, выше на 2–3°C.

Летний период 2012 г. был теплым, с неравномерным распределением осадков. Средняя температура воздуха за летний период превысила среднемноголетнюю норму на 1–2°C, в южных районах составила 20–21°C тепла. Особенно жаркими были июнь и июль. Воздух днем в эти месяцы прогревался до 30–36°C тепла. В летние месяцы дожди шли часто, по территории области распределялись неравномерно и с разной интенсивностью, носили ливневый характер, сопровождалось грозами и шквалистым ветром.

Осень 2012 г. характеризовалась преимущественно теплой и дождливой погодой. В целом, средняя температура воздуха за период составила в северо-западных, северо-восточных районах области 1–5°C тепла, в центральных, южных районах области – 5–8°C тепла, что в пределах климатической нормы.

Осадки по территории области распределялись неравномерно. Число дней с осадками более 1 мм за осенний период составило в северо-западных, центральных, южных районах области 16–23 дня. За осенний период в центральных, южных районах области выпало максимальное количество осадков 154–204 мм – это в 1,5–2 раза превышало норму. Сентябрь был относительно теплым и влажным. Первая декада сентября в пределах нормы и выше нормы на 1°C, вторая декада сентября выше нормы на 1–3°C, третья декада сентября в пределах нормы и выше нормы на 1°C. Дней с дождем 1 мм и более за месяц по территории области выпало от пяти до тринадцати. Осадки выпадали в каждой декаде и разной интенсивности.

Метеорологические условия 2013 г., как и предыдущих лет, характеризовались рядом особенностей.

Весна была поздней и затяжной, характеризовалась крайне сложными агрометеорологическими условиями. Весна наступила на 4–12 дней позже среднемноголетних дат, в отдельных районах в обычные сроки, устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C к положительным значениям произошел в период с 10 по 18 апреля. Май характеризовался повышенным температурным фоном и большим количеством осадков. Среднемесячная температура воздуха составила по территории области 10–15°C тепла, что на 2–3°C выше климатической нормы.

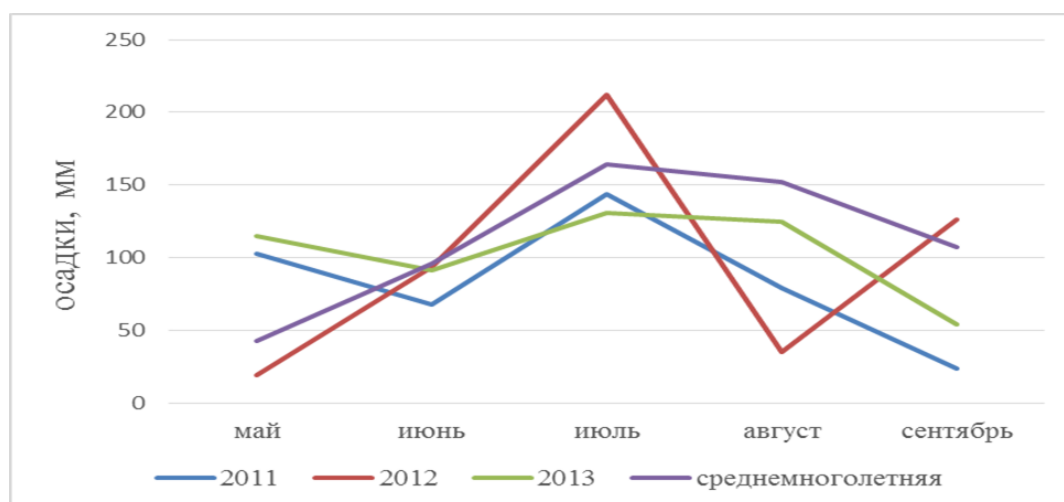


Рисунок 3 – Среднемесячная и средняя многолетняя суммы осадков за 2011–2013 г. (МС г. Благовещенска).

Переход среднесуточной температуры воздуха через $+10^{\circ}\text{C}$ к положительным значениям в большинстве сельскохозяйственных районов области произошел 2–3 мая, раньше среднемноголетней даты на 8–18 дней. За май выпало максимальное количество осадков 77–137 мм, что в 2–3 раза выше нормы.

Лето 2013 г. было продолжительным, умеренно теплым и очень дождливым. Характерной особенностью летнего периода явился комплекс неблагоприятных и опасных природных явлений: сильный ливень, очень сильный дождь, град, шквалистый ветер, переувлажнение почвы, наводнение. Средняя температура воздуха за летний период по территории области составила $16\text{--}20^{\circ}\text{C}$, это в пределах или выше на 1°C среднемноголетней нормы. Осадки в летний период распределялись неравномерно, в июне месячная сумма осадков составила на большей территории области 33–136% многолетней нормы, в июле и августе она превышала норму в 1,1–4 раза. Суточный максимум осадков в июле и августе достигал 30–70 мм, местами 90–147 мм. С дождем за весь период было 37–50 дней.

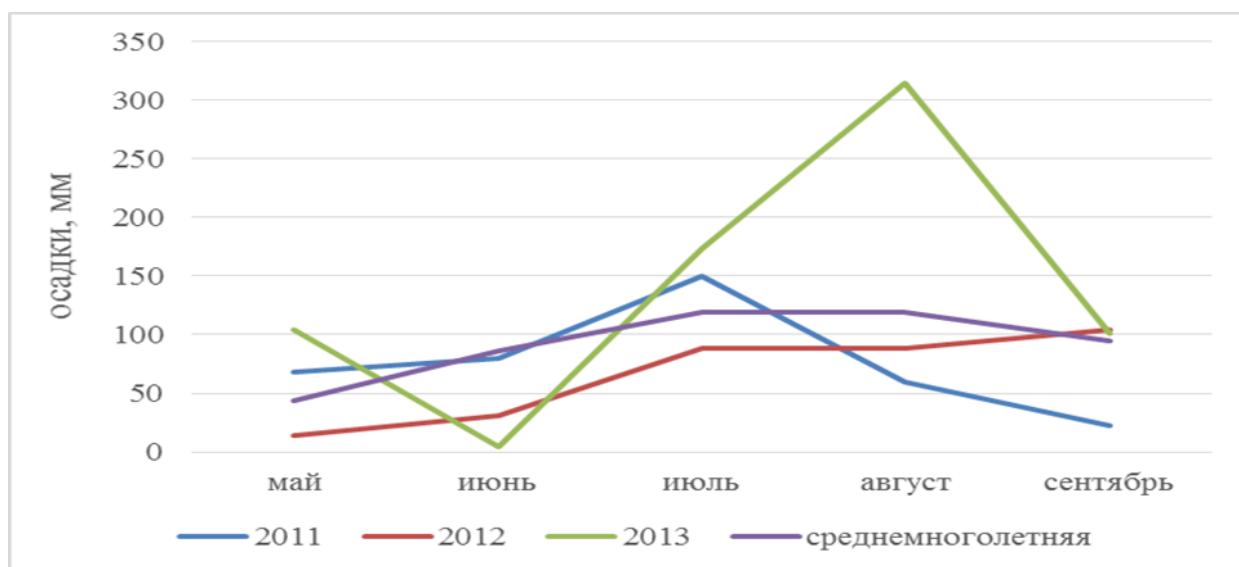


Рисунок 4 – Среднемесячная и средняя многолетняя суммы осадков за 2011–2013 г. (МС п. Екатеринославка).

Осень 2013 г. характеризовалась неустойчивым температурным режимом и неравномерным распределением осадков. В целом средняя температура воздуха за осенний период составила в центральных, южных районах области 6–8°C тепла – это в пределах климатической нормы. Осадки по территории области распределялись неравномерно. Число дней с осадками более 1 мм за осенний период по территории области составило 10–15. Сентябрь характеризовался неустойчивой погодой с чередованием теплых и холодных периодов. Первая декада была выше климатической нормы на 1–3°C, вторая и третья декада сентября были в пределах климатической нормы и ниже на 1–2°C (рис. 2–3). Максимальное количество осадков выпало в Шимановском, Ромненском, Октябрьском, юго-восточных районах области, 110–128 мм, что составило 104–122% нормы. Меньше осадков выпало в северо-западных, северо-восточных, центральных, юго-западных районах области, 7–115 мм, т.е. 80–98% нормы. Мало осадков выпало в Белогорском, Ивановском, Серышевском районах и г. Свободном, 48–62 мм, что составило 40–60% нормы (рис. 4–5). В целом можно сказать, что агрометеорологические условия 2013 г. были крайне сложными.

Большое количество осадков вызвало подъем воды в реках и выход ее на пойму, вследствие чего была затоплена большая часть посевов сельскохозяйственных культур, угодий, населенных пунктов (Агрометеорологический обзор., 2011, 2012, 2013).

2.1.2. Почвы

Зейско-Буреинской равнина отличается разнообразием почвенного покрова. На нижней террасе местами распространены кустарники. Под зарослями монгольского дуба, даурской березы, разнолистной лещины, двцветной леспедеции на породах легкого гранулометрического состава сформировались бурые лесные почвы, но доля этих почв здесь незначительна. В пределах нижних речных пойменных террас под травянистой растительностью развиваются аллювиальные луговые и лугово-болотные

почвы (Терентьев, 1969; Пустовойтов, 1971).

Луговые глеевые почвы заметно отличаются от лугово-черноземовидных почв (второй речной террасы) по морфологическим признакам. У них менее интенсивно окрашенный гумусовый горизонт мощностью до 20–22 см. Профиль их четко дифференцирован на генетические горизонты, но переходный горизонт АВ отсутствует. Начиная с горизонта, обнаруживаются резкие признаки восстановительных процессов в виде сизо-ржавых пятен оглеения, обусловленных гидроморфными условиями формирования этих почв. По механическому составу луговые глеевые почвы близки к лугово-черноземовидным почвам и представлены крупно пылевато-иловатыми глинами, реже – тяжелыми суглинками. В физической глине преобладают фракции ила и мелкой пыли. Содержание крупной пыли тоже высокое, до 30–32%. Наблюдается вынос ила в среднюю часть профиля, где его количество увеличивается до 39,7%. Луговые глеевые почвы Зейско-Буреинской равнины отличаются от лугово-черноземовидных более кислой реакцией. Величина рН водной суспензии в гумусовом горизонте составляет 5,3–5,8, а рН солевое – 4,4–4,8. В средней части профиля наблюдается снижение рН, но к материнской породе оно иногда приобретает первоначальное значение. Обменная кислотность тоже значительно выше как в гумусовом горизонте (0,1–0,26 м-экв), так и в средней части профиля (до 1,03 м-экв). Гидролитическая кислотность высокая (5,22–9,72 м-экв) в верхнем слое почвы; к материнской породе снижается до 3,06–3,78 м-экв.

В пахотном слое, почв Амурской области, содержание гумуса невысокое (4,37–6,44%). В подпахотном слое почвы, резко снижается до 0,59–1%. Водорастворимая часть уменьшается вниз от 0,013–0,016 до 0,007–0,008%. Это говорит, о закономерности накопления водорастворимого гумуса (в % от общего) вниз по профилю, как у лугово-черноземовидных почв. Однако процент, в количественном отношении, значительно больше и достигает 8,66%. Общие запасы гумуса в слое 0–20 см незначительны (90 т/га), в слое 0–50 см – 180, а в метровом слое – 241 т/га; это значительно меньше, чем в

лугово-черноземовидных почвах. Гумус луговых глеевых почв в верхнем горизонте имеет гуматно-фульватный состав. Отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот больше единицы. В нижележащих горизонтах группа фульвокислот преобладает над гуминовыми кислотами, их отношение меньше единицы. Сумма поглощенных оснований в 1,5–2 раза меньше, чем в лугово-черноземовидных почвах, и составляет 27,6–28,8 м-экв (Адриянова, 1971; Андриянова, Онищук, 1976).

Луговые глеевые почвы характеризуются невысоким потенциальным плодородием. Содержание общего азота – 0,23–0,24% и резко уменьшается вниз по профилю. Основная часть его представлена негидролизруемыми формами, а легкогидролизуемый азот составляет только 3,3% от общего (7,8–8,1 мг на 100 г почвы). Содержание валового фосфора значительно ниже (0,25–0,27%), чем у лугово-черноземовидных почв, а количество подвижных его форм очень низкое (1,75 мг на 100 г). Как и лугово-черноземовидным, луговым глеевым почвам свойственно высокое содержание валового (до 2,26%) и обменного калия (35–38 мг на 100 г). В верхних слоях почвы хорошо выражена его биогенная аккумуляция, вниз по профилю наблюдается снижение до 22–23 мг на 100 г почвы. Обеспеченность растений подвижным калием повышенная и высокая. Физические и водно-физические свойства луговых глеевых почв обусловлены тяжелым механическим составом и условиями залегания на пониженных элементах рельефа. Эти почвы значительно переувлажняются за счет осадков при отсутствии естественного стока и промывного типа водного режима. Улучшить их можно за счет мелиоративных мероприятий (Адриянова, 1971; Андриянова, Онищук, 1976).

Аллювиальные почвы района исследования очень разнообразны по мощности гумусового горизонта, строению профиля и агрохимическим показателям. У аллювиальных глееватых почв иллювиальный горизонт обычно средне- и тяжелосуглинистый с наличием признаков оглеения – ржавыми и сизыми пятнами. Содержание гумуса в этих почвах колеблется от 3 до 6% в гумусовом горизонте и резко уменьшается при переходе к

следующему горизонту. Количество общего азота значительно варьируется от 0,2 до 0,5%. Реакция почв кислая, слабокислая и близкая к нейтральной (рН 4,2–6,5). Гидролитическая кислотность находится в пределах 2–5 мэкв на 100 г почвы. В нижних горизонтах она резко уменьшается. Сумма поглощенных оснований составляет от 15 до 25 мэкв в гумусовом горизонте и также резко снижается при переходе к нижележащим почвам. Обеспеченность легкоусвояемыми формами фосфора и калия невысока (Голов, 2001).

В силу трансэллювиально-аккумулятивного характера этой катены почвы насыщены минеральными и органическими веществами для данного региона максимально, за исключением участков промыва и разлива рек. За счет обогащенного химико-биологического состава такие почвы обладают наибольшей способностью к естественной фильтрации дождевых, снеговых, т.е. осадочных вод. Аккумулятивная доля почв в районе исследования составляет примерно 10% от всех видов почв района исследования. При такой доле этих почв существующая речная сеть на данной территории имеет значительный почвенный фильтр на своем водосборном участке. Аллювиальные почвы формируются на рыхлых современных аллювиальных отложениях в поймах Амура, Зеи и их притоков. Общая площадь пойменных земель в области составляет около 325 тыс. га.

Переувлажнение значительной площади пойменных земель отрицательно влияет на плодородие аллювиальных почв. Значительные площади переувлажняемых пойменных земель приходятся на собственно аллювиальные луговые глеевые и глееватые почвы, а также на аллювиальные болотные торфянисто-иловато-глеевые. Зарегулирование речного стока плотиной Зейской ГЭС в определенной мере снизило площади затопляемых земель паводковыми водами (Голов, 2001).

Почвенный покров второй надпойменной террасы немного сложнее как в профиле, так и в мозаичности. На плоских дренированных участках под остепненными разнотравно-злаковыми лугами сформировались лугово-черноземовидные почвы (более 70%) различной мощности и степени

оглеения. Разная степень оглеенности вызвана трансэллювиальностью данной катены. На значительных возвышениях этой террасы почвы тонкие, серые, лесные. На водораздельных участках средней террасы, находится множество понижений. Из-за недостаточной дренированности почвы образуются луговые оглеенные почвы. В таких понижениях аккумулятивного характера хорошо сформировались с широким профилем лугово-болотные почвы (Система земледелия..., 2003).

Лугово-черноземовидные почвы распространяются на плоских водоразделах и слабопологих склонах, формируются под луговым разнотравьем. Почвообразующие породы – покровные глины, делювиальные глины и суглинки. Они хорошо оструктурены, однако их комковатая структура не имеет водопрочности. Гумусовый горизонт этих почв почти черного цвета, зернисто-комковатой структуры. Количество гумуса в верхних горизонтах очень большое и в слое 0–10 см достигает до 10%, а в слое 10–20 см – до 7%. По механическому составу луговые черноземовидные почвы глинистые, с содержанием илистых частиц от 20 до 40% (Терентьев, 1969; Голов, 2001).

Луговые черноземовидные почвы развиваются на положительных элементах рельефа под луговой и лугово-степной растительностью, отличаются мощным гумусовым горизонтом. Луговые черноземовидные почвы по мощности гумусового горизонта делятся на три группы: мощные, среднемощные, маломощные (Пустовойтов, 1971). Лугово-черноземовидная почва характеризуется слабокислой реакцией среды (рН водной суспензии 6,0–6,7), значительной емкостью поглощения (30,2–38,4 мг-экв на 100 г почвы в гумусовых горизонтах) и высокой степенью насыщенности поглощающего комплекса по всему профилю. Содержание гумуса в верхних горизонтах составляет 5,5–7,03% и довольно резко снижается до 0,5–1,2% на глубине 80–100 см. В составе гумуса верхнего полуметра преобладают гуминовые кислоты. Отношение $C_{гк}:C_{фк}$ в лугово-черноземовидных почвах составляет 1,98–2,74. Содержание негидролизующих остатков в верхней части гумусового

горизонта незначительное – 23,3–26,1%. Особенностью гумусообразования лугово-черноземовидных почв является преобладание в составе гумуса гуминовых кислот над фульвокислотами в верхней части профиля и фульвокислот в нижней части (Ивлев, 2001).

Сумма поглощенных оснований высокая – до 35–43 мг-экв. на 100 г. почвы. Среди поглощенных катионов преобладает ион кальция. Степень насыщенности почв основаниями составляет 90%, обменная кислотность не превышает 1 мг-экв. на 100 г. почвы. Гидролитическая кислотность колеблется обычно от 3 до 5 мл-экв. Реакция луговых черноземовидных почв слабокислая и близка к нейтральной, pH солевой вытяжки 5,5–6,2.

Лугово-черноземовидные почвы плохо обеспечены подвижным фосфором, содержание его 2–2,5 мг-экв. на 100 г. почвы: средняя обеспеченность пашни K_2O составляет 5–10 мг-экв. на 100 г. почвы. По механическому составу эти почвы относятся к легким глеевато-пылеватым глинам с преобладающими фракциями ила (33–35%) и крупной пыли (32%). Тяжелый механический состав и неводопрочная структура способствуют сильному набуханию их во время летне-осенних дождей и быстрому переувлажнению. В связи с этим, на таких почвах необходимо проводить агролесомелиоративные мероприятия, обеспечивающие их дренаж (Прокопчук, 2001).

Третья надпойменная терраса состоит из бурых лесных почв и содержит сообщества травянистых лесов с преобладанием дуба монгольского. Эти почвы довольно тонкие, так как они формируются на песчаных холмах, где имеется максимальная дренированность. Бурые лесные почвы сформировались под хвойно-широколиственными лесами и являются зональными почвами Дальнего Востока. Бурые лесные почвы характеризуются малой мощностью гумусового горизонта (5–10 см) и развиваются на породах различного механического состава. Профиль их слабо дифференцированный. Величина pH водной суспензии в гумусовом горизонте составляет 6,4–6,2, а pH солевая – 5,5–5,8. Вниз по профилю почв pH

снижается и достигает первоначального значения только в материнской породе. Валовой химический состав бурых лесных почв в значительной степени отражает состав материнской породы, однако в результате превращения песчаных отложений в суглинистые, а также перемещения окислов по профилю имеет некоторые отличия от исходных пород. Как следствие биологической аккумуляции в верхнем горизонте обнаруживается заметное накопление P_2O_5 (0,22%), CaO (1,81%) и MnO (0,82%). По сравнению с материнской породой во всех горизонтах почвы заметно накопление Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO и CaO . Можно отметить равномерное распределение MgO по всему профилю. Если в верхнем горизонте он составляет 0,60%, в горизонте В – от 0,36 до 0,85%, то в материнской породе – столько же, сколько в верхнем горизонте. Можно лишь отметить постепенное увеличение содержания кремнезема к материнской породе (в горизонте А – 75,70%, в С – 77,87–79,40%). Содержание Al_2O_3 в горизонте А составляет 10,83%, увеличиваясь вниз по профилю до 12,55% (в горизонте С). В распределении калия можно отметить небольшое увеличение его книзу – до 0,82%; это результат влияния материнской породы (Андрянова, Онищук, 1971).

Так или иначе, тип почвы, кроме особенностей ландшафта, определяет типы растительных сообществ за счет различий химического и механического состава, сказывается на степени аэрации и влагоемкости этих террас (Голов, 2001). Определенная часть вод таких рек, как Ивановка, за счет развитости и насыщенности почвенного горизонта, поступающих в реки, проходят многоступенчатую фильтрацию со всех трех речных террас и имеют долю участия в предварительной системе естественного механизма самоочищения этих малых рек.

2.1.3. Геохимические особенности состава природных вод

Согласно существующей классификации природных вод (Вернадский, 1969), все водные ресурсы разделены на подгруппы, классы, царства, подцарства, семейства и виды растворенных минералов. Всего выделено 3 подгруппы, 9 классов, 19 царств, 43 подцарства, 143 семейства, 485 видов минералов, число которых, по мнению В.И. Вернадского, должно быть увеличено до 1500 (Шварцев, 1998).

В поймах рек уровень грунтовых вод расположен на глубине 2–3 м от поверхности. В таких условиях, влияние вод сказывается не только на создании луговых (или болотных) условий гидроморфного почвообразования. С этими же водами связаны процессы перераспределения (выноса и аккумуляции) веществ в почвенном профиле, а также процессы миграции и аккумуляции их в пределах ландшафта (Зимовец, 1966).

Существуют и иные классификации вод. Исходя из геохимического состава природных вод, было выделено 7 особых температурных точек воды, отвечающих ее структурным превращениям: 4, 40, 85, 165, 225, 340 и выше 400°C. Как следствие, были выделены 4 группы вод:

1. Холодные и слаботермальные воды верхней части земной коры. Это воды зоны гипергенеза и биосферы с температурой не более 50°C;
2. Горячие и умеренно перегретые (50–200°C);
3. Сильноперегретые (200–375°C);
4. Флюидные (выше 375°C).

Но эта классификация рассматривает воды по происхождению разных слоев земной коры. В пределах первой группы наибольшие геохимические различия вод зависят от их окислительно-восстановительных условий. Большое их значение объясняется огромным энергетическим эффектом окислительно-восстановительных реакций, меняющим геохимическую обстановку в воде. В пределах типов геохимические различия вод, в первую очередь, определяются щелочно-кислотными условиями. Многие металлы, образующие катионы, легко

мигрируют в кислых водах и плохо – в щелочных. Для вод с температурой около 20°C, к которой относятся воды изучаемой р. Ивановка, которая нами была изучена. Далее она может классифицироваться по реакции среды на более низкий ранг, изначально в классификации их 4:

1. Сильнокислые pH <3–4;
2. Слабокислые pH (3–4)–6,5;
3. Нейтральные и слабощелочные pH 6,5–8,5;
4. Сильнощелочные pH >8,5.

Для р. Ивановка вода относительно этой классификации нестабильна – в начале гидрологического лета вода нейтральная, в середине – вода слабощелочная, и в конце гидрологического лета она имеет слабокислую реакцию. Следующий таксон – семейства вод – выделяется по величине общей минерализации. Достаточно четко различаются семейства ультрапресных, пресных, солоноватых, соленых и рассольных вод. Однако границы между ними часто носят искусственный характер и не обусловлены природой воды.

Речные воды Сибири и Дальнего Востока относят к семейству ультрапресных вод. Это семейство широко распространено в природе, к нему относятся многие атмосферные осадки, поверхностные и грунтовые воды материков в районах влажного климата. Они обладают большой растворяющей способностью (Перельман, 1989).

Речные воды Приамурья, также как и почвенно-грунтовые, характеризуются невысокой минерализацией, постоянным присутствием кремнезема и железа. Содержание натрия высокое и почти не уступает содержанию кальция. Состав и минерализация природных вод Приамурья зависит от форм продуктов выветривания, почвообразования и геохимических ландшафтов. Более минерализованные воды, но с меньшим содержанием кремнезема характерны для супераквальных (равнинных) поверхностей (Зимовец, 1966).

Высокое содержание кремнезема является результатом процессов выветривания пород кислого состава и почвообразования в условиях влажного

муссонного климата. Состав речных вод отличается некоторым уменьшением содержания кремнезема при одновременном увеличении содержания гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов. Это согласуется с гидрохимическими особенностями соединений и свидетельствует, что в данных условиях часть кремнезема задерживается в почвах и грунтах. Для железа подобная зависимость нарушена активным его поступлением в речные воды с поверхностным стоком. С почвенно-грунтовыми водами Приамурья связано перераспределение веществ в почвенном профиле, а также процессы миграции и аккумуляции элементов по рельефу (Зимовец, 1966).

Критерием разделения семейств на роды можно считать содержание в водах органических веществ.

1. Воды, богатые растворенными органическими веществами гумусового ряда. К ним относятся многие воды таежных, тундровых и тропических болот, рек и озер. Для них характерны гуминовые и фульвокислоты, смолы и прочие органические соединения.

2. Воды, богатые растворенными органическими веществами нефтяного ряда. Они особенно характерны для глубоких подземных вод нефтегазовых месторождений.

3. Воды, бедные растворенными органическими соединениями. К ним относятся воды некоторых горных рек, аридных районов, высокогорных озер.

4. Воды, промежуточные по содержанию растворенных органических веществ. К ним относятся океанические и многие другие воды.

Последний таксон предлагаемой классификации выделяется по ионному составу вод, на основе их шестикомпонентного состава гидрокарбонатные, кальциевые, хлоридные, натриевые и прочие воды представляют собой различные виды. Все классификации, по ионному составу относятся к холодным и слабо нагретым водам. В горячих и перегретых водах состав ведущих ионов существенно меняется, в них большое значение приобретают анионы кремневой, фтористоводородной и других кислот (Перельман, 1989).

Влияние геохимических условий на эволюцию организмов рассматривали

В.И. Вернадский, А.П. Виноградов, Б.Б. Польшов. Живые организмы играют огромную роль в земной коре, в том числе и в геохимии природных вод. Живое вещество – это сложная система биоорганических, органических и неорганических соединений, в составе которой обнаружены практически все устойчивые химические элементы, известные человеку, но в разных количествах. Предложенная система состоит из шести главных таксонов, каждый из которых выделяется на основании особого критерия:

Группа – температура;

Тип – окислительно-восстановительные условия, ведущие газы;

Класс – щелочно-кислотные условия;

Семейство – общая минерализация;

Род – растворенное органическое вещество;

Вид – ведущие катионы и анионы.

Качество предлагаемой классификации в значительной степени зависит от правильности выбора таксономических признаков – от того, в какой степени эти признаки действительно определяют важнейшие свойства вод (Перельман, 1989).

2.2. Характеристика реки Ивановка

Общая протяженность рек Амурской области превышает 77 тыс. км. Больших рек, длина которых свыше 500 км, семь: Амур, Зея, Селемджа, Гилуй, Буря, Олекма, Нюкжа. Средний многолетний годовой сток рек составляет 166 км³. Особенно густа речная сеть на севере области. В связи со строительством Зейской ГЭС возникло Зейское водохранилище длиной 225 км, шириной в средней части до 25 км, площадью 2400 км². В стыке горных хребтов Эзоп и Дусе-Алинь на р. Буря возведена вторая после Зейской крупнейшая на Дальнем востоке ГЭС – Бурейская.

Экологическое состояние территорий Амурской области на фоне

большинства других регионов Российской Федерации в целом удовлетворительное, но имеются отдельные участки с повышенной остротой экологической ситуации. Существенно то, что большинство экосистем на территории области относится к категории уязвимых, для которых даже относительно небольшая антропогенная нагрузка может привести к необратимым изменениям их естественных качеств. Но значительная часть природных ресурсов области пока не вовлечена в промышленное освоение и может рассматриваться как резервный потенциал для будущих поколений жителей области и всей России (Государственный доклад..., 2012; Государственный доклад..., 2013; Государственный доклад..., 2014).

Река Ивановка (до 1972 г. называлась Будунда) – малая река, левый приток р. Зея, которая впадает в р. Амур. Ее длина составляет 176 км. Начинается она на заболоченном участке Зейско-Буреинской равнины, вблизи с. Романовка. Долина широкая, течение медленное, река маловодная (Амурская область..., 1989). Площадь водосбора – 2710 км², заболоченность 15%, лесистость <5%. Река Ивановка протекает на равнинной местности через сельскохозяйственные районы южной части Приамурья (Государственный водный кадастр..., 1979). Она относится к дальневосточному типу рек с преобладанием дождевого питания. В течение года в уровненом режиме реки прослеживается зимняя межень, весеннее половодье, период летне-осенних дождевых паводков. Первое ледяное образование – забереги появляются во второй декаде октября, ледостав устанавливается в конце октября путем смерзания заберегов. Ежегодно в январе, река промерзает, на всем протяжении рассматриваемого участка реки образуются наледи с толщиной льда до 0,7 м. Протяженность половодья 7–14 дней в конце марта – начале апреля. Летняя межень наблюдается, как правило, в июле, даже в очень засушливые годы река не пересыхает. За летне-осенний период проходит 3–4 паводка, обычно в июле-августе. Сток р. Ивановка периодический зависит только от выпадения осадков. В осенне-зимний период года стока нет (Информационный отчет..., 2004).

Река Ивановка расположена на равнинно-широкоуваляистой надпойменной террасе р. Зея. Она делится на северную часть – плоскую, слегка пересеченную, с частым чередованием бурых лесных, лугово-бурых, луговых среднетощных, торфяно- и торфянисто-глеевых почвах, на аллювиальных тяжелых глинах; южную часть – с преобладанием луговых среднетощных почв на аллювиальных глинах и суглинках. Растительность представлена комплексом луговой флоры и небольшими массивами белоберезовых лесов с примесью осины, ивы, низкорослого дуба, черной березы и зарослей лещины. В реке водится карась, амурский сом, щука, чебак, пескари, голяны и головешка-ротан (Амурская область., 1989).

При выборе контрольных участков отбора проб воды учитывались геоморфологическая особенность водоема, гидрометеорологические факторы, поверхность водосбора и антропогенная нагрузка. Для исследований были определены следующие участки отбора проб (рис. 5):

1 участок – исток реки, водохранилище, расположенное на расстоянии 1,7 км на юго-восток от с. Романовка на пади Пиколовской. Год ввода водохранилища в эксплуатацию – 1987. Река на этом участке имеет минимальную антропогенную нагрузку, так как фактически водохранилище используется только для рекреации и иногда для любительского рыболовства. Хозяйственного использования земли вокруг истока почти не имеют. Собственника у водохранилища нет. Площадь зеркала 0,379 км², максимальная ширина 0,54 км, длина 1,56 км, средняя глубина 1,69 м, средняя мощность донных отложений 0,08 м. Расстояние от устья до створа плотины 0,5 км, площадь водосбора 25,2 км². Ложе водохранилища заболочено по береговой линии. Наблюдается незначительное заиление. Режим водоохраной зоны и прибрежных полос соблюдается. Водосборная площадь облесена, по пади заболочена. Для анализа качества вод и сопоставления данный участок можно считать фоновым.

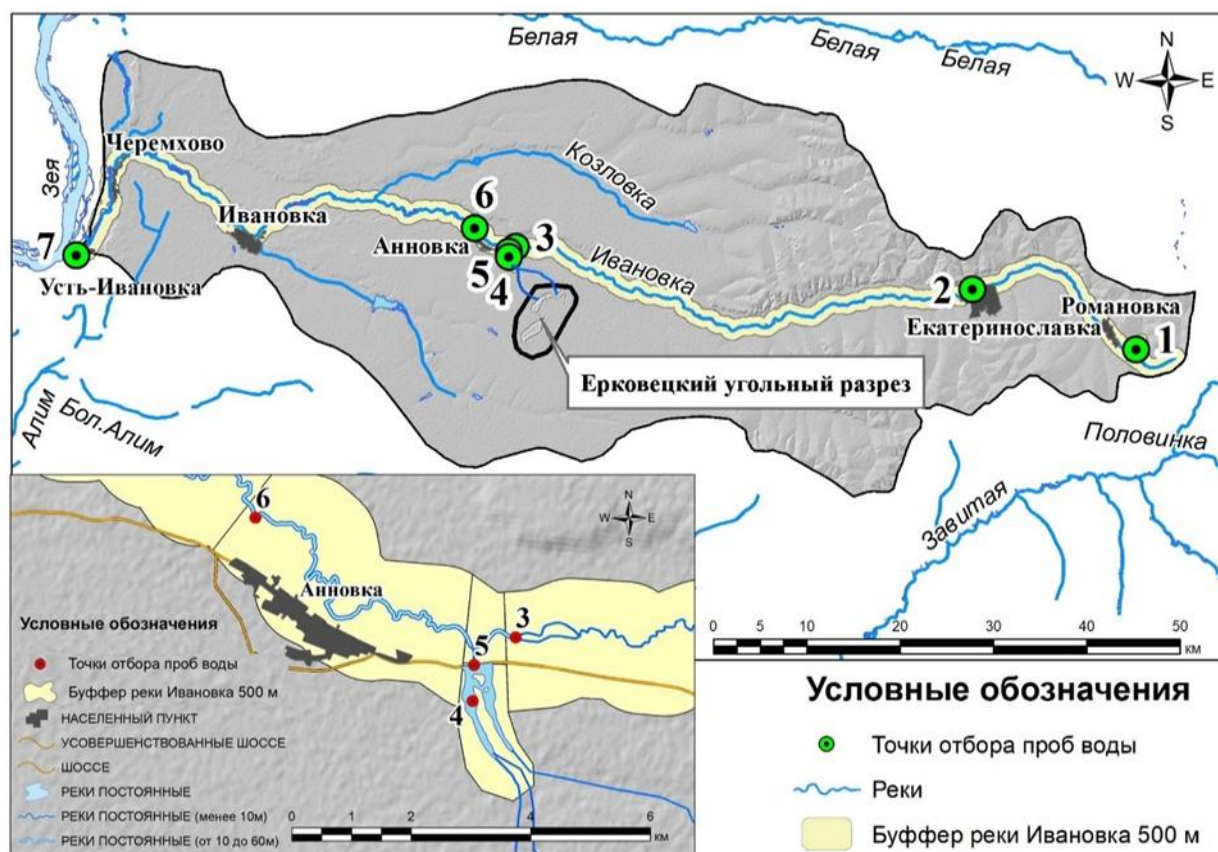


Рисунок 5 – Карта-схема бассейна р. Ивановка (северо-запад бассейна р. Амур) и места отбора проб воды (отмечены цифрами 1–7).

2 участок – р. Ивановка в пределах поселка Екатеринославка. Водосборная площадь по пади заболочена, наблюдается заиление. 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 в районе с. Анновка. Водохранилище введено в эксплуатацию в 1972 г., расположено в 1,5 км восточнее 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. Ивановку. 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.

Все выделенные участки реки представляют собой отдельные, различающиеся по характеристикам водной среды объекты (Информационный отчет., 2004).

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для общей характеристики реки использованы региональные материалы исследований метеорологов, гидрологов, биохимиков, микробиологов, начиная с середины прошлого столетия.

Химико-экологические, физические и микробиологические, показатели поверхностных вод в р. Ивановка изучались в течение теплого периода года с момента схода льда на реках, а именно: с 1-й декады мая до конца июня, весь июль и с начала августа до 3-й декады сентября (начало, середина и конец гидрологического лета, обозначенные по тексту как его этапы римскими цифрами I, II, III) с 2011 по 2013 гг. Рассмотрены внешние для реки факторы природного и антропогенного характера. За время проведения работ отобрано 524 пробы речной воды и выполнено 2772 гидрохимических определений. Для характеристики речных вод определялись 11 элементов. Отбор проб проводили пробоотборником, определение химических показателей выполняли по общепринятым гидрохимическим методам согласно ГОСТу Р 51592-2000. Для химического анализа, пробы воды отбирали в стеклянную посуду и пластиковые емкости. 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. Измеряли температуру поверхностного слоя воды. 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 этих участков для обеспечения достоверности исследовалось пять постоянных мест отбора проб:

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, аммиак и ионы аммония – фотоколориметрическим методом с реактивом Несслера, нитритный азот – с реактивом Грисса, нитраты – с салицилатом натрия. Содержание ортофосфатов определяли фотоколориметрическим методом Морфьи-Райли, трехвалентное железо (эта форма оказывает влияние на величину водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала речных вод) – реакцией с тиоцианатом, марганец – спектрофотометрическим методом на приборе LEKI SS 2107UV г. Санкт-Петербург (Романенко, Кузнецов, 1970; Лурье, 1973; Лурье, Рыбников, 1974; Методы химического анализа., 1979; Руководство по химическому., 1980; Руководство по химическому., 1977; Кузнецов, Дубинина, 1989).

Определение активной реакции среды (pH). Величина водородного показателя в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования регламентируется в пределах 6,5–8,5 (СанПин 2.1.5.980-00). Это один из важнейших показателей качества воды, который определяли методом прямой потенциометрии.

Определение растворенного в воде кислорода. Растворенный в воде кислород определяли скляночным методом Винклера, который актуален и в наши дни, несмотря на появление различных датчиков, которые надо калибровать, используя объемное титрование.

Определение биохимического потребления кислорода (БПК₅). Метод определения БПК₅ предназначен для анализа поверхностных вод с содержанием биохимически окисляемых веществ, которые соответствуют значению БПК до 6 мг О₂/л. Принцип заключается в определении БПК по разности между содержанием кислорода до и после инкубации проб в

темноте в течение пяти суток при 20°C без доступа воздуха (Руководство..., 1977; Методы исследования..., 1990).

Определение перманганатной окисляемости. Получаем оценку легкоокисляемой части (окисляется 40–60% органических веществ). Определение окисляемости перманганатным методом в пресных водах проводят в кислой среде (по Кубелю). Метод основан на том, что раствор KMnO_4 в присутствии веществ, способных окисляться, выделяет кислород, идущий на их окисление. Получение сравнимых результатов возможно лишь при постоянном соблюдении определенных условий: колбы должны быть одинакового размера, объем исследуемой воды (натуральной или разведенной) должен быть равен 100 мл, а время кипячения – точно 10 мин. По окончании кипячения, жидкость должна оставаться окрашенной в розово-фиолетовый цвет, указывающий на наличие избытка перманганата калия (Шишкина, 1974).

Определение окисляемости бихроматным методом (ХПК). Практически полное окисление всех растворимых в воде, а также многих нерастворимых органических примесей достигают обработкой пробы раствором бихромата калия в сильно серноокислой среде в присутствии сульфата серебра в качестве катализатора (окисляется 90–95% ОВ). Расход бихромата, определяемый обратным титрованием избытка добавленного бихромата титрованным раствором соли Мора в присутствии ферроина, выражается в мг $\text{O}_2/\text{л}$ (Методы исследования..., 1990).

Определение аммиака и ионов аммония фотоколориметрическим методом с реактивом Несслера. Метод основан на способности аммиака образовывать с щелочным раствором йодида ртути (II) окрашенные в желтый цвет соединения йодида меркураммония. При низкой концентрации аммиака и ионов аммония получают коллоидный раствор, пригодный для колориметрирования. При большом содержании (>3 мг/л) выпадает бурый осадок, в этом случае определение необходимо проводить после разбавления пробы безаммиачной водой. Оптическую плотность образовавшегося

соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации ионов аммония находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества. Предел обнаружения – $0,05 \text{ мг NH}_4^+/\text{л}$. Диапазон измеряемых количеств аммонийных ионов в пробе – $0,005\text{--}0,150 \text{ мг}$.

Определение нитритного азота фотоколориметрическим методом – с реактивом Грисса. Метод основан на способности нитритных ионов, давать интенсивно окрашенные диазосоединения с первичными ароматическими аминами. При определении используется реакция с сульфаниловой кислотой и альфа - нафталином (реактив Грисса) с образованием розовой окраски, интенсивность которой пропорциональна содержанию нитритов в воде. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации нитритного азота находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества. Предел обнаружения – $0,002 \text{ мг NO}_2^-/\text{л}$. Диапазон измерения количеств нитритов в пробе – $0,1\text{--}15 \text{ мкг}$.

Определение нитратов проводили фотоколориметрическим методом. Метод основан на реакции нитратов с салицилатом натрия в присутствии серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации нитратов находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества.

Фосфорный показатель был определен фотоколориметрическим методом Морфи-Райли. Метод основан на взаимодействии ортофосфатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием ортофосфорно-молибденового комплекса (гетерополикислоты) и его последующем восстановлении аскорбиновой кислотой в присутствии антимоилтартрата калия (калия сурьмяновиннокислого) до сильноокрашенного голубого

соединения, так называемой молибденовой сини. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации фосфора находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества (Методы исследования..., 1990).

Определение железа (Fe^{3+}). Метод определения основан на взаимодействии ионов трехвалентного железа с роданид - ионом в сильноокислой среде с образованием окрашенного в красный цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации железа. Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации железа находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества (Методы исследования..., 1990).

Определение марганца (Mn^{2+}). При взаимодействии соли марганца с гидроксидом натрия (калия) образуется белый студенистый осадок, буреющий на воздухе вследствие окисления двухвалентного катиона марганца (II) до катиона марганца (IV). Оптическую плотность образовавшегося соединения измеряют на фотоколориметре. Значения концентрации марганца находят по калибровочному графику, который показывает зависимость оптической плотности раствора от концентрации определяемого вещества (Методы исследования..., 1990).

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 аммонийоокисляющих и нитритоокисляющих бактерий использовали жидкие среды Сориано и Уокера, Уотсона и Менделя (Кузнецов, Дубинина, 1989). Для определения

численности микроорганизмов, окисляющих соединения фосфора, использовали среду Пиковской (Большой практикум по микробиологии, 1962). Посев осуществляли методом Коха в трех повторностях.

Среда для определения общей численности сапрофитных гетеротрофных бактерий (г/л):

CaCO_3 – 1, MgSO_4 – 1, K_2HPO_4 – 0,2, пептон – 5, глюкоза – 1, дрожжевой экстракт – 5, вода дистиллированная – 1000 мл.

Среда Уотсона и Менделя для определения нитритокисляющих бактерий (г/л):

NaNO_2 – 4,14, $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 3, $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,06, K_2HPO_4 – следы, цитрат Fe – 0,006, Na_2MoO_4 – следы, MnCl_2 – 0,03, ZnSO_4 – следы, CuSO_4 – следы, $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ – следы, вода дистиллированная – 600 мл.

Среда Сориано и Уокера для определения аммонийокисляющих бактерий (г/л):

NH_4Cl – 0,3, $\text{MgSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 0,06, KH_2PO_4 – 0,012, FeSO_4 – следы, CaCO_3 – следы, вода дистиллированная – 600 мл. Смесь микроэлементов (по Пфенингу) 1000 мл, мг/мл: ЭДТА – 500, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 200, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 10, $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ – 3, BO_3 – 30, $\text{CoCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 20, $\text{CuCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 1, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 3, $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ – 2, вода дистиллированная – 10.

Среда Пиковской для определения фосфорокисляющих бактерий – среда г/л:

Глюкоза – 10, аспаргин – 1, K_2SO_4 – 0,2, $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,2, дрожжевой экстракт – 0,02, агар – 15,5, $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ – 0,33, Na_2PO_4 – 0,38, вода дистиллированная – 1000.

В зависимости от того, для какой группы микроорганизмов предназначена среда, в нее (на 9,9 мл среды) добавляли стерильно по 0,1 мл исследуемой воды.

Все этапы (подготовка стеклянной посуды, питательных сред, инструментов и приборов) сопровождаются автоклавированием (стерилизация насыщенным паром под давлением) и стерилизацией. Многие

полученные данные сопоставляли с результатами наблюдения в конкретное время за состоянием вод реки.

Для статистической обработки результатов, для каждого участка реки, рассчитывали среднее арифметическое значение и стандартные отклонения по выборке. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовалась также методика полного факторного эксперимента. В ходе исследований были проведены полные факторные эксперименты, проведено исследование функции методом наименьших квадратов и решена компромиссная задача для двух уравнений регрессии. Поиск компромиссных значений осуществлялся при помощи программ «Sigma Plotv.11.0» и «Компас 3DV14».

ГЛАВА 4. ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ИХ РОЛЬ В САМОВОССТАНОВЛЕНИИ И САМОРЕГУЛЯЦИИ ВОДЫ РЕКИ ИВАНОВКА

Для оценки состояния вод и выявления уровней содержания загрязняющих веществ была определена рН среды, кислородные показатели – содержание O_2 , БПК₅, ХПК, ПО. Также были определены концентрации минерального фосфора, неорганических форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного), железа (Fe^{3+}) и марганца (Mn^{2+}).

4.1. Активная реакция среды как лимитирующий фактор жизнедеятельности водных микроорганизмов

Величина водородного показателя в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и для нормального жизнеобеспечения самой реки регламентируется в пределах 6,5–8,5 (ГОСТ 17.1.2.04-77).

Постоянство кислотно-основных свойств природных вод влияет на протекание в них биологических и физико-химических процессов и обеспечивается наличием буферных систем. Для пресноводных организмов содержание водородных ионов в воде является одним из важнейших абиотических факторов среды. Именно он зачастую определяет разнообразие и соотношение самих гетеротрофных микроорганизмов. От уровня рН в значительной степени зависит и биологическая активность микроорганизмов, их численность, а значит, и продуктивность данной экосистемы вообще. Соотношение групп микроорганизмов обеспечивает степень устойчивости самоочищающей способности реки. По мнению других исследователей, рН воды определяет и доступность элементов питания, миграционную способность некоторых токсичных для биоты элементов, видовое разнообразие экосистемы, типы процессов жизнедеятельности организмов (Тарасова, Кузнецов, 1988).

На первом этапе гидрологического лета (за все годы исследования)

величина водородного показателя pH в воде реки, в районе ее истока, соответствовала норме и составляла 7,2–7,8. Второй этап вегетационного периода в 2011 г. был жарким и сухим, осадков было мало. В водохранилище при этих условиях величина pH увеличилась до 8,3 за счет развития водорослей. Иная картина была в такой же период в 2012 г. – осадков выпало в 1,7 раза больше нормы, величина pH находилась около 7,4. Такое значение водородного показателя оставалось и до конца третьего этапа (табл. 3).

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 наиболее заметно было на участках 4 и 5. Оно вызвало повышение норматива в 1,4 раза, и диапазон pH составил 8,9–9,9. В районе устья реки величина pH находилась в пределах нормы и составила 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.

Таблица 3

Активная реакция среды в р. Ивановка за 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.

В 2013 г. на участках реки 1, 2, 3, 6, 7 нарушений норматива не было, величина pH находилась в диапазоне 6,5–7,9. Наибольшее значение pH

отмечалось на участках 4 и 5, где диапазон pH составлял 8,9–9,9, свидетельствуя о неудовлетворительном экологическом состоянии воды в водохранилище и в месте сброса воды из водохранилища в реку.

С момента схода льда, когда реакция среды максимально приближена к нейтральной, она постепенно меняется в сторону щелочной и достигает пика ко второй, третьей декадам июля. Но 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 pH (7,5–8,1). Поэтому можно сделать вывод, что объемы поверхностных смывов в целом невелики и не имеют определяющего значения. За 3 года исследований наибольшие колебания pH отмечены в районе водохранилища, в отличие от остальных участков, и, соответственно, в месте сброса из него, что свидетельствует о неудовлетворительном экологическом состоянии водохранилища в районе села Анновка. Это обусловлено поступлением поверхностных смывов с почв и грунтов с/х 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. Следовательно, экосистема р. Ивановка, несмотря на естественные поступления различных веществ с водосбора, а также на антропогенное загрязнение, способна справляться с антропогенной нагрузкой.

Повышение водородного показателя формируется в мелководных участках рек с медленным течением, где вода хорошо прогревается и происходит накопление органического вещества и редуцирующих микроорганизмов. Исследования малых рек Амуро-Зейской равнины показали, что активная реакция среды за весь период наблюдений соблюдается для всех рек. Однако есть тенденция к закислению воды, что может быть обусловлено накоплением кислых продуктов (у затона) (Пакурина и др., 2013; Колесникова, 2009).

4.2. Изменение содержания растворенного кислорода и органических веществ в р. Ивановка

Количественные показатели органического вещества в водоеме и содержание растворенного кислорода тесно связаны друг с другом. Наличие в воде растворенного кислорода обеспечивает в природных водных объектах самоочистительную способность (Алекин, 1970). Жизнедеятельность и биомасса автотрофных организмов обеспечивают как долю кислорода, так и само органическое вещество. Кислородный режим, определяющий этот уровень самоочищения, в водоеме, регулируется следующими факторами: особенностями и степенью проточности, климатическими факторами, глубиной и размерами водоема, рельефом (Скопинцев, Гончарова, 1987).

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 не должно быть ниже 4 мг O_2 /л в любой период года. Поэтому данный вопрос был нами изучен на примере вод р. Ивановка.

За время наших наблюдений в 2011 г. в течение всего гидрологического лета, концентрация растворенного кислорода была ниже нормы на 2-м и 7-м участках реки (3,2–3,8 мг O_2 /л), что свидетельствует о недонасыщенности этих вод кислородом. На остальных участках реки содержание растворенного кислорода соответствовало нормативу (4,5–6,7 мг O_2 /л). На первом этапе вегетационного периода 2012 г., на всех участках реки, содержание растворенного кислорода в воде составляло 4,7–7,3 мг O_2 /л. Минимальное содержание растворенного кислорода было зафиксировано на 4-м участке – 4,7 мг O_2 /л и на 6-м участке реки – 5,0 мг O_2 /л. Это, по-видимому, связано с тем, что в среднем и нижнем течении реки в нее поступает большое количество воды, загрязненной органическими веществами с последующим цветением гетеротрофных микроорганизмов, потребляющих кислород. К концу третьего этапа вегетационного периода количество осадков составило

30% от среднего многолетнего, и содержание растворенного в воде кислорода на всех участках реки пришло в норму.

В течение всего гидрологического лета 2013 г. минимальное содержание растворенного кислорода отмечено на участках 3, 6, 7 (1,7–5,0 мг O_2 /л), что ниже норматива в 2,4 раза. На первом этапе вегетационного периода 2013 г. наиболее высокое содержание растворенного кислорода было зафиксировано на 1-м участке реки – 9,9 мг O_2 /л. На втором этапе на участках реки 1, 2, 4, 5 содержание растворенного кислорода было в пределах нормы. Для третьего этапа на участках 4,5 также наблюдались высокие показатели растворенного кислорода (8,9–9,8 мг O_2 /л). На остальных участках реки в течение третьего периода этот показатель был ниже нормы (табл. 4).

В целом, за все 3 года, исследований содержание растворенного кислорода преимущественно соответствовало экологическому нормативу, за исключением 2013 г. В период наводнения отмечалось низкое значение 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.

По данным таблицы 4, предельные показатели содержания кислорода в воде наблюдались на третьем вегетационном этапе на 3-м, 4-м и 5-м участках реки. Здесь хоть и отмечены наибольшие глубины, но данный показатель сопряжен с замедлением течения реки, когда вода содержит большую биомассу гетеротрофных микроорганизмов. Это подтверждается и другими исследованиями, где основным фактором, регулирующим насыщение кислорода в воде, являются объем и интенсивность деятельности микроорганизмов. Так, при химико-экологической оценке состояния водохранилищ малых рек в зоне интенсивного сельскохозяйственного землепользования на Зейско-Буреинской равнине выявлено, что для всех

водоемов была характерна недонасыщенность кислородом на 51–60%, причиной, которой могут являться процессы окисления органических веществ автохтонного и аллохтонного происхождения (Харина и др., 2012).

Таблица 4

Содержание растворенного кислорода в воде р. Ивановка, мг О₂/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.

Данные по процентам насыщенности воды кислородом также показывают степень концентрации растворенного кислорода. 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. В итоге мы должны сказать, что воды р. Ивановка с точки зрения насыщенности кислородом, ниже уровня нормы бывают в году непродолжительное время, и это приходится на разные периоды гидрологического лета в разных участках реки.

Показатели насыщенности кислородом притоков не могут сказываться на таковых процессах в самой р. Амур, где среднегодовое содержание растворенного кислорода составляло летом 2005 г. от 8,8 до 11,0 мг/дм³. Несмотря на благополучие, состояния рек водосборного бассейна северной части Верхнего Приамурья, здесь наблюдается тенденция к постепенному снижению содержания кислорода в амурских водах в целом. В зависимости от гидрологической фазы, в течение года наблюдаются низкие содержания кислорода в меженные периоды и более высокие – во время половодья. Причины данного несоответствия не установлены в силу неполного исследования состояния всех рек бассейна. Величины биохимического потребления кислорода (БПК₅) в водоемах, используемых для рыбохозяйственных целей, подвержены сезонным и суточным колебаниям. Сезонные колебания зависят в основном от изменений температур и от исходной концентрации растворенного кислорода (Зенин, 1988). Влияние температуры сказывается через ее воздействие на скорость процесса ее потребления живыми организмами, которая увеличивается в 2–3 раза при повышении температуры на 10°C (Позднякова, 1977).

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) является интегральным показателем наличия в воде легкоокисляемых органических веществ. В период исследований 2011–2013 гг. максимальные значения биохимического потребления кислорода на участках реки 1,4,5 находились в пределах 4,4–6,8 мг/л, что превышает норму в 1,1–1,7 раза. На остальных участках значение БПК₅ соответствовало нормативу (табл. 5).

БПК₅ является интегральным показателем наличия в воде легко окисляемых органических веществ. В 2011 г. в течение всего вегетационного лета превышение нормативов по БПК₅ отмечено в пробах воды на 4-м, 5-м, 6-м участках реки. Вода, согласно СанПину 2.1.5.980-00, относится к классу «грязные». На 1-м участке реки показатель превышает норматив в 1,7 раз, а к концу гидрологического лета приходит в норму и составляет 2,6–3,0 мг О₂/л. В 2012 г превышение норматива по БПК₅ в 1,2–1,5 раза отмечено на 4-м

участке реки. Вода здесь характеризуется, как «грязная». На 2-м, 3-м, 6-м, 7-м участках превышения норматива не отмечено, вода соответствует классу «чистая» и «умеренно загрязненная».

Таблица 5

Изменение содержания органических веществ в р. Ивановка
в 2011–2013 гг. (n=3)

Место отбора проб	БПК ₅ * (мгО ₂ /л)			ПО** (мг О ₂ /л)		
	Вегетационные периоды					
	I	II	III	I	II	III
Участок 1	6,8±3,10	3,2±0,92	2,4±1,12	13,2±2,08	17,1±2,30	12,3±2,42
Участок 2	4,6±1,60	2,7±1,44	2,6±0,41	11,7±4,51	12,8±3,13	8,6±1,96
Участок 3	2,1±0,80	2,4±0,83	2,9±0,92	9,0±4,69	11,8± 2,78	12,5±3,05
Участок 4	3,9±2,90	4,5±0,08	6,8±2,22	6,0±0,87	13,0±1,27	8,8±1,51
Участок 5	4,4±3,25	5,2±0,82	6,5±1,80	5,3±0,58	16,3±0,71	8,7±1,64
Участок 6	2,1±0,75	4,6±2,95	2,9±0,45	8,9±4,57	13,1±1,65	9,5±1,27
Участок 7	3,0±2,00	1,5±0,70	1,7±0,62	8,7±2,53	11,8±2,43	10,4±1,30
Норматив	4,0 мг О ₂ /л*			5,0 мг О ₂ /л**		

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

* (СанПин 2.1.5.980-00).

**СанПин 2.1.4.559-96.

В 2013 г, из-за обилия осадков, содержание кислорода в воде реки было повышенным (5,0–9,9 мг О₂/л). К концу вегетационного периода (период наводнения) значения БПК₅ заметно снизились на участках 1, 2, 3, 7 по сравнению с началом теплого периода и составили 2,0–3,3 мг О₂/л. На участках 4 и 5 на протяжении всего гидрологического лета отмечались высокие показатели 6,2–9,9 мг О₂/л. В этом году вода на данных участках характеризовалась как «грязная». В течении всего периода исследований воды реки по классификации соответствовали классу качества «умеренно загрязненные», «загрязненные» и «грязные». Максимальные значения БПК₅ зафиксированы в 2013 г. (4,5–9,9 мг О₂/л) на 1-м, 4-м, 5-м участках реки. Такие высокие показатели, очевидно, связаны с поверхностным смывом с прилегающих сельскохозяйственных территорий, что вызвано наводнением и влиянием Ерковецкого угольного разреза.

Для природных малозагрязненных вод определяется перманганатная

окисляемость (ПО), которая обуславливает наличие в природных водах органических и некоторых легкоокисляющихся неорганических примесей. Результаты исследований показали, что величина ПО на всех участках р. Ивановка в течение всего времени исследования (2011–2013 гг.) превышала норматив в 1,1–3,4 раз и колебалась от 5,3 до 17,1 мг O_2 /л. Средние значения ПО в течении I периода за все годы исследования были максимальны на 1-м, 2-м участках реки (11,1–13,2 мг O_2 /л), превышение норматива составило 2,3–2,6 раза. В течении второго теплого периода значения ПО, выше нормы на всех участках реки в 2,4–3,4 раза. К третьему этапу значения ПО снижаются, величины находились в пределах 8,6–12,3 мг O_2 /л, что выше нормы в 1,7–2,5 раза (табл. 5).

В 2011–2012 гг. максимальные значения ПО зафиксированы на втором вегетационном этапе на всех участках реки (8,1–7,4 мг O_2 /л), что выше нормы в 1,6–3,5 раза. Это явление, видимо, характерно для реки в данный период исследования. Показатели ПО уменьшались лишь к третьему этапу и составляли 5,8–16,8 мг O_2 /л, что выше норматива в 1,2–3,4 раза.

В 2013 г. наибольшее содержание органических веществ наблюдалось на втором вегетационном этапе на всех участках реки. Этот показатель находился в пределах 13,0–19,7 мг O_2 /л, что обусловлено завершением цветения водоема. Данная картина характерна для водных объектов в этот период времени. Таким образом, нарушение нормативов отмечено в засушливые, с высокими температурами годы на отдельных участках реки, отличающихся небольшой глубиной и медленным течением. Так как эти участки расположены разрозненно и разделены участками, где наблюдаемые показатели находятся в норме, то для обитателей реки в целом эти отклонения не наносят большого вреда.

Наиболее полно отражает сезонную динамику поступления и содержания органических веществ бихроматная окисляемость (ХПК). В главе представлен анализ результатов ХПК за 2012–2013 гг.

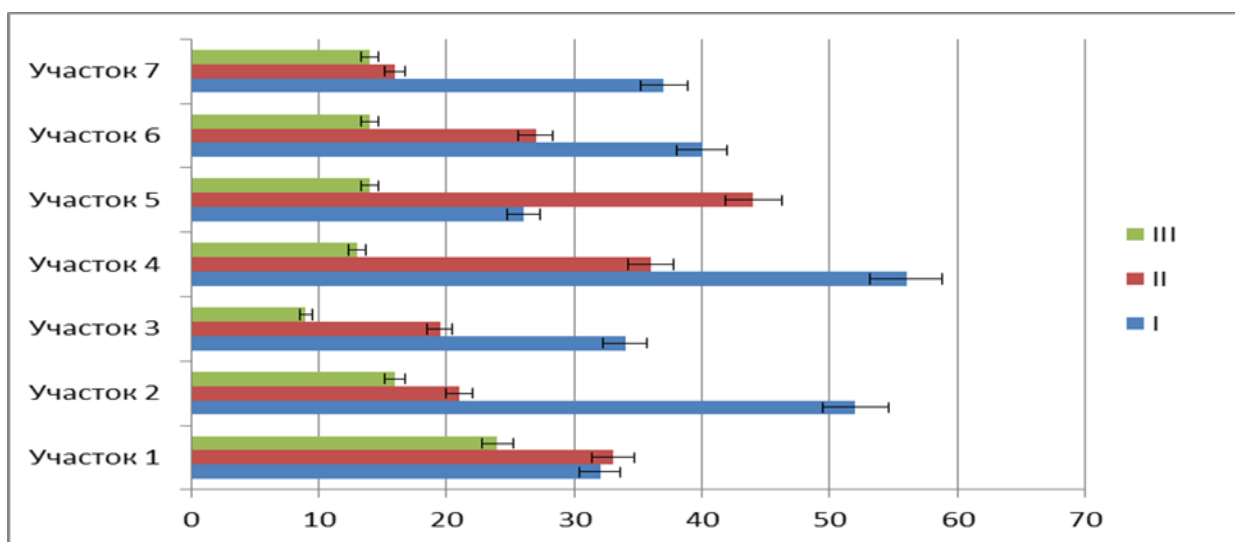


Рисунок 6 – Химическое потребление кислорода в р. Ивановка за 2012–2013 гг., мг O₂/л (среднее). Вегетационный период I – май–июнь, II – июль, III – август–сентябрь. * Гигиенический норматив ХПК для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения – 15 мг O₂/л; для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест – 30 мг O₂/л (СанПиН 2.1.5.980-00).

Максимальные значения ХПК в I и II периоды исследования в 2012–2013 гг. отмечались на всех отрезках реки, кроме 3-го и 7-го участков. Превышение гигиенического норматива составило 1,1–3,7 раза, рекреационного – 1,1 раза. К третьему периоду данный показатель стабилизируется и приходит в норму на всех участках реки, за исключением 1-го, где гигиенический норматив превышен в 1,6 раза (рис. 6).

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 третьему этапу отмечается 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 значительно 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, т.к. приводит к повышению доли анаэробных бактерий, вызывающих активное гниение, и водоем может стабилизироваться при значительном выпадении осадков, повышающих кислородный показатель. Первичная продукция, вместе с поступающим ОВ, с водотоком, составляет материальную и энергетическую основу всех этапов, дальнейшего продуцирования ОВ, в водном объекте (Винберг, 1960).

В результате наших исследований выявлено, 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. Можно заключить, что для вод р. Ивановка и в целом для региона это характерное явление.

Из-за поступления разнообразных соединений: почвенного гумуса (повсеместно), растительных остатков с полей и пастбищ (участки 2, 4 и 5), расположенных вокруг участков реки, стоков с Ерковецкого угольного разреза (участки 5 и 6) в изучаемых пробах наблюдаются нарушения экологических нормативов по данным показателям. Самые высокие концентрации органических соединений наблюдаются на 4-м и 5-м участках реки, где отмечены критические величины БПК₅ (2 ПДК), ПО (2,5–3,5 ПДК), ХПК (3–4 ПДК), свидетельствующие о чрезвычайной экологической ситуации, созданной животноводческими стоками в комплексе со сточными водами угольного разреза.

Результаты исследования показывают в обычное время некоторое превышение норм содержания органического вещества с II до III этапа гидрологического лета. В течение гидрологического периода, для реки, это явление обычное, т.к. цветение планктона с обильным образованием донных отложений в большей степени характерно для равнинных рек. Но выявленные скачки концентрации органического вещества в I и II этап

гидрологического лета на несколько порядков связаны, в первую очередь, с антропогенными стоками с сельхозугодий или с угольного карьера и других источников. Скачки этого показателя, приходящиеся на первый этап гидрологического лета, иногда связаны с весенними паводками, с разливами или грунтовым подтоплением на протяжении всего гидрологического лета.

В целом, динамика насыщенности органическим веществом имеет прямую зависимость от суммы активных температур и их пиков в летний период. Последствия мы видим в трех вариантах: 1) При оптимальных температурах июня и июля цветение воды имеет пик во второй половине июля, что вызывает увеличение содержания органического вещества. Данный показатель, сохраняется до середины августа, и имеет незначительное увеличение. 2) При стабильно низких температурах июня, в июле происходит подъем концентрации органического вещества. Это происходит незначительно, и пик концентрации приходится на середину августа. 3) При продолжительном наступлении жары в июне, концентрация органического вещества начинает повышаться с третьей декады июня и держится в таковых значениях до середины августа. Это является для автотрофных и большей части гетеротрофных организмов экстремальным, когда начинает повышаться доля анаэробных бактерий, вызывающих активное гниение, и когда водоем может стабилизироваться при значительном выпадении дождевых осадков, повышающих кислородный показатель.

4.3. Динамика биогенных элементов в воде р. Ивановка

Основной причиной ухудшения качества вод является эвтрофикация поверхностных источников, обуславливающих азотсодержащие соединения. Ведущим фактором, определяющим интенсивность эвтрофикации, является поступление в водоемы значительного количества биогенных элементов. Среди растворенных веществ особое место занимает азот, присутствие

минеральных форм, которого ухудшает качество воды и определяет в значительной мере биологическую продуктивность гидробионтов (Шестеркин и др., 2009).

По содержанию неорганических форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного) можно судить не только о степени загрязненности воды, но и о протекании процессов самоочищения (Соколов и др., 1988).

Аммонийный азот в водные объекты поступает с неочищенными сточными водами, от разлагающихся на дне органических веществ, а также с заболоченных земель. За время наших исследований среднее содержание аммонийного азота не превышало гигиенический норматив на всех участках реки (табл. 6). На втором вегетационном этапе зафиксированы наибольшие концентрации аммонийного азота в пределах 1,1–2,2 мг/л, превышение норматива было незначительным. Максимальные значения отмечены на 1-м, 6-м, 7-м участках реки. К третьему этапу этот показатель снижается и находится в пределах 0,4–0,8 мг/л, такие тенденции естественны для данного периода наблюдений. Это связано с приостановлением процесса аммонификации в результате понижения температуры.

Таблица 6

Среднее содержание ионов аммония в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг.

(NH_4 , мг/л) (n=3)

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
Участок 1	0,8±0,27	1,6±0,44	0,8±0,44
Участок 2	1,5±0,28	1,3±0,59	0,4±0,15
Участок 3	0,9±0,40	1,3±0,53	0,8±0,43
Участок 4	0,5±0,15	1,3±0,60	0,8±0,47
Участок 5	0,6±0,15	1,1±0,33	0,7±0,44
Участок 6	0,6±0,34	2,2±0,07	0,7±0,42
Участок 7	1,3±0,28	1,7±0,78	0,6±0,26
ПДК ионов аммония для водоемов –гигиенический 2,0			

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

Для поверхностных вод в условиях существования фотосинтеза в режиме NH_4^+ наблюдаются закономерные изменения концентрации: уменьшение зимой и летом в результате ассимиляции растениями и

увеличение в осенний период при усилении процесса распада накопившегося за лето органического вещества. Содержание аммонийного азота показывает на наличие источников загрязнения органическим веществом стоками с поверхностных вод и с сельхозугодий. Из-за этого на отдельных участках реки возникает недостаток кислорода в воде в течение любого летнего периода. Одновременно, на этих участках реки активно идут процессы восстановления и эвтрофикации.

Концентрация нитритов в естественных условиях из-за их нестойкости незначительна. Несколько увеличивается их концентрация к концу лета, когда усиливается распад органического вещества. В период исследований среднее содержание нитритов на всех участках реки соответствовало экологическим нормативам (табл. 7). Наиболее высокие значения отмечены в III период наблюдений на 1-м, 2-м, 4-м, 7-м участках реки, составлявшие 0,034–0,051 мг/л. Повышенное содержание нитритов указывает на усиленное разложение органического вещества, что и подтверждается нашими исследованиями.

Таблица 7

Среднее содержание нитритов в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг.

(NO²⁻, мг/л) (n=3)

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
Участок 1	0,010±0,005	0,007±0,002	0,046±0,023
Участок 2	0,004±0,002	0,005±0,002	0,034±0,015
Участок 3	0,011±0,008	0,051±0,013	0,018±0,011
Участок 4	0,026±0,023	0,018±0,011	0,051±0,026
Участок 5	0,003±0,001	0,020±0,008	0,022±0,014
Участок 6	0,003±0,001	0,011±0,005	0,025±0,017
Участок 7	0,005±0,002	0,015±0,008	0,038±0,018
Экологический норматив 0,03–0,5; Гигиенический норматив 1,0			

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

Повышенное содержание нитратов в воде может служить индикатором загрязнения водоема в результате распространения бытовых, либо химических загрязнений (сельскохозяйственных, промышленных). Богатые нитратными водами сточные каналы ухудшают качество воды в водоеме,

стимулируя массовое развитие водной растительности и ускоряя эвтрофикацию водоемов (Практическое..., 2006).

Как показывают результаты наших исследований, 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. Источником обогащения поверхностных вод нитратами могут являться атмосферные осадки. На первом этапе периода наблюдений 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. Выпавшие осадки были незначительными. Они вызвали смывы, накопившегося органического вещества и минерального азота с с/х 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 отмечено в нижнем течении реки (6-й и 7-й участки). В середине теплого периода 2012 г. превышение ПДК нитратного азота отмечено в воде на 1–5 участках в 2–3 раза. К завершению вегетационного периода превышения содержания нитратного азота в воде реки и в водохранилище не выявлено.

В 2013 г. в начале вегетационного этапа, в воде зафиксировано превышение ПДК нитратного азота в 1,2–1,4 раза на 3-м и 7-м участках реки. Наибольшее содержание нитратов, в пределах 0,8–5,9 мг/л, отмечается 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. 8). Вода соответствует классу «грязная». Концентрация нитратов в

поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям: минимальная 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. Амплитуда сезонных колебаний концентрации нитратов может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта и степени его загрязненности органическими азотсодержащими веществами, поступающими с хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками, также источником обогащения поверхностных вод нитратами являются атмосферные осадки (Гончаренко, 1999; Царькова, 2007; Соловьев, 2011).

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.

Таблица 8

Среднее содержание нитратов в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг.

(NO_3^- , мг/л) (n=3)

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
Участок 1	0,35±0,19	0,70±0,32	0,68±0,61
Участок 2	0,39±0,09	0,79±0,33	0,82±0,64
Участок 3	0,61±0,11	1,05±0,38	0,19±0,64
Участок 4	0,43±0,19	0,96±0,20	2,18±1,86
Участок 5	0,37±0,18	1,35±0,28	0,19±0,10
Участок 6	0,65±0,13	0,53±0,29	0,46±0,37
Участок 7	0,89±0,26	0,67±0,33	0,67±0,37
ПДК нитратов для водоемов – 0,5 (NO_3^-)			

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

Согласно современным представлениям, комплекс биохимических процессов, ответственный за цикличность и интенсивность биологических

явлений в водоеме, представляет единую динамически устойчивую в известных пределах систему. В результате ее функционирования дополнительные количества фосфора, поступившие в водоем, могут быть выделены из воды в донные отложения. Оценка степени эвтрофирования водоема является сложной и индивидуальной, которая требует не только изучения природных и антропогенных источников поступления биогенных элементов, но и исследования режима биогенов, в связи с особенностями функционирования экосистемы в целом (White, 1977).

В природных водах фосфор находится в виде органических и неорганических соединений. Основная масса фосфора находится во взвешенном состоянии. Соединения фосфора поступают в воду в результате внутриводоемных процессов, выветривания и растворения горных пород, обмена с донными отложениями и из антропогенных источников. В отличие от азота, круговорот фосфора не сбалансирован, что определяет его более низкое содержание в воде. Поэтому фосфор наиболее часто оказывается тем лимитирующим биогенным элементом, содержание которого определяет характер продукционных процессов в водных объектах (Драбкова, Стравинская, 1989).

В водохранилищах севера Европейской части России биогенные элементы присутствуют обычно в малых количествах и активно включаются в круговорот вещества. Поэтому при изучении обеспеченности водоема фосфором необходимы определения не только концентраций минеральных форм, являющихся основным компонентом питания фитопланктона, но и содержания общего фосфора, основным источником поступления которого служит речной сток (Справочник..., 1998; Свергузова и др., 2011; Колесникова и др., 1999). При изучении обеспеченности водоема фосфором мы определяли концентрацию его минеральной формы. Данный показатель нами был изучен в течение теплого периода 2012–2013 гг. В природных водах фосфор содержится в ничтожных количествах вследствие низкой растворимости его соединений и интенсивного поглощения их гидробионтами. Содержание

соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, поскольку оно 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. Эти динамические процессы являются естественными для водоема (Кольцов, 1995).

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 концентрация фосфора минерального немного стабилизировалась, вода преимущественно соответствовала классу «загрязненная», за исключением 4-го и 5-го участков (класс «грязная»). В третий период исследований, на всех участках реки, вода классифицировалась как «грязная» (табл. 9).

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». 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 можно отметить, что содержание фосфора минерального в воде в начале теплого периода и в конце было достаточно высоким. Лишь 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. С усилением процессов синтеза автохтонного органического вещества, максимум которого приходится на июль–август, происходит снижение содержания в воде $P_{\text{мин}}$. (Парфенова, 1993).

Содержание железа, так или иначе, сказывается на состоянии микроорганизмов в воде. Избыток ионов железа отражается на составе донных отложений, а ионы растворенного железа аккумулируются железобактериями, что не может не отражаться на pH воды, так и на жизнедеятельности остальных групп микроорганизмов. На содержание и соотношение форм железа большое влияние оказывают значения водородного показателя (pH) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh), концентрации органических кислот, растворенного кислорода, сероводорода, диоксида углерода, микроорганизмы, окисляющие и восстанавливающие железо. Для обозначения суммарной концентрации растворенных форм железа используют термин «железо общее», ПДК которого в воде для рыбохозяйственных объектов составляет 0,1 мг/л. В речной воде концентрация железа не зависит от общей минерализации воды. Вода мелких притоков Амура содержит гораздо больше растворенного железа, чем амурская вода. Объясняется это связью притоков мелких рек с поверхностными и грунтовыми водами, которые питают их и являются главным источником растворенного железа (Зимовец, 1966).

Таблица 9

Среднее содержание фосфора минерального в воде р. Ивановка
за 2011–2013 гг., мг/л (n=3)

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
Участок 1	0,51±0,14	0,07±0,01	0,45±0,26
Участок 2	0,53±0,10	0,09±0,01	0,47±0,43
Участок 3	0,36±0,12	0,27±0,07	0,52±0,43
Участок 4	0,73±0,05	0,64±0,23	0,51±0,40
Участок 5	0,50±0,14	0,32±0,12	0,64±0,47
Участок 6	0,52±0,06	0,23±0,01	0,37±0,29
Участок 7	0,36±0,03	0,11±0,10	0,53±0,42
По классификации ГОСТ 17.1.2.04-77			

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

Содержание железа сказывается на состоянии микроорганизмов в воде. Избыток ионов железа отражается на составе донных отложений, а ионы растворенного железа аккумулируются железобактериями, что не может не отражаться как на pH воды, так и на жизнедеятельности остальных групп микроорганизмов. В течение летнего вегетационного периода 2011 г., на всех участках реки, за исключением 1-го, 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. Максимальное содержание ионов металла отмечалось на 6-м участке реки (0,42–0,67 мг/л), на 7-м участке (0,36–0,44 мг/л) превышение ПДК составило соответственно 1,2–1,5 раз. В течение вегетационного периода 2013 г. в пробах воды также отмечается повышенное содержание железа. На 4-м участке, отмечено превышение в 2 раза, на 7-м 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 (табл. 10).

Таблица 10

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

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
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

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 в болотах на корневищах болотных растений, что

и повышает содержание элемента в природных водах. Железо почти всегда присутствует в природных водах, так как оно повсеместно рассеяно в горных породах. Высокое фоновое содержание железа характерно для данного региона, где в грунтовых водах отмечается от 1,64 до 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; Шестеркин, 2015).

Обстановка по содержанию железа в природных водах Верхнего Приамурья в целом неблагоприятная. Многие водные объекты Приамурья, по данным Росгидромета, характеризуются высоким содержанием железа общего (растворенного). В воде р. Амур в 2009 г. наибольшая его концентрация составляла 1,64 мг/л, в 2010 г. – 1,71 мг/л (Государственный..., 2010). По данным исследователей, повышенная концентрация железа в амурской воде предположительно на период с 1996 по 1998 гг. (до 2,75 мг/л) связана с деградацией мерзлоты (Шамов и др., 2008). Наблюдения ИВЭП в 2012–2014 гг., напротив, свидетельствуют о более низких на порядок значениях, и такая разница в показателях является следствием разных методик определения (Шестеркин и др., 2013). В любом случае природные воды бассейна р. Амур отличаются повышенным содержанием железа.

Роль соединений Mn в водных экосистемах зависит от его концентрации в воде: при недостатке подавляется процесс фотосинтеза, а соответственно, и фотосинтезирующая часть планктона. В силу отсутствия или недостатка автотрофных организмов наблюдается недостаток органических веществ. Марганец стимулирует фотосинтез и защищает клетки от свободных радикалов, при высоких концентрациях задерживает рост водорослей (Романовский, 1966).

В поверхностные воды марганец поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов. Значительные количества марганца поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых, диатомовых водорослей и

высших водных растений. Содержание марганца в воде не связано с конкретным месяцем, степенью прогрева воды и стадиями процесса ее цветения. В нашем случае динамика средних показателей Mn^{2+} по периодам вегетации 2011–2013 гг. выглядит следующим образом: 0,04–0,23 мг/л – первая половина лета, 0,05–0,33 мг/л – середина лета, 0,19–0,38 мг/л – осень, т.е. происходит постепенное увеличение. Данный факт показывает, что на первом этапе вегетационного периода фотосинтезирующие организмы набирают свою максимальную биомассу (табл. 11).

Повышенное содержание марганца в 2011 г. в течение летнего вегетационного периода отмечено на 7-м участке реки (0,3 мг/л), что превышает ПДК в 3 раза. На 3-м участке (0,82–1,06 мг/л) превышение ПДК составляет 8,2–10,6 раз. В 2012 г. наибольшее содержание марганца отмечается на первом вегетационном этапе. В пробах, отобранных на 1-м участке – 0,3 мг/л, на 3-м участке – 0,35 мг/л и на 7-м участке – 0,36 мг/л. Превышение ПДК составило 3,0–3,6 раза.

В целом, результаты исследования показали, что изменения концентрации марганца на разных участках реки довольно резки и не приурочены к определенному периоду времени.

Таблица 11

Среднее содержание ионов Mn^{2+} в воде р. Ивановка за 2011–2013 гг.

(мг/л, n=3)

Место отбора проб	I декада	II декада	III декада
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.

По нашим наблюдениям, это связано именно с влиянием на речную экосистему извне и может объясняться только массовыми притоками от обильных осадков, разливов во время наводнений, паводков и техногенных сбросов. Выявленные изменения на третьем этапе 2013 г. связаны именно с чрезвычайной ситуацией (наводнением). В это время, произошли изменения состава воды, и появилось много нехарактерных примесей в водах, именно в гидроциркуляции.

Марганец способствует утилизации CO_2 растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота. Понижение концентраций ионов марганца (II) в природных водах происходит в результате его окисления до MnO_2 и других высоковалентных оксидов, выпадающих в осадок. Основными параметрами, определяющими реакцию окисления, являются концентрация растворенного кислорода, величина pH и температура. Концентрация растворенных соединений марганца понижается вследствие утилизации их водорослями. В поверхностные воды марганец поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов. Значительные количества марганца поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых, диатомовых водорослей и высших водных растений.

ГЛАВА 5. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИХ ЗНАЧЕНИЕ В САМОВОССТАНОВЛЕНИИ И САМОРЕГУЛЯЦИИ

Ведущую роль в круговороте веществ играют сапрофитные гетеротрофные бактерии, их основной функцией является деструкция органических веществ. Они осуществляют процессы реминерализации, благодаря чему биогенные соединения вновь становятся доступными для первичных продуцентов (Рубцова, 2001; Bryant, Frigaard, 2006; Canfield, Des Marais, 1993). В качестве индикаторов биогенного и органического загрязнения использовали показатель численности сапрофитных гетеротрофных бактерий, аммонийоокисляющих, нитритоокисляющих и фосфорокисляющих бактерий.

5.1. Численность гетеротрофных микроорганизмов воды р. Ивановка

Использование методов биологического мониторинга включает состав и динамику бактериопланктона. По изменению общего состава гетеротрофных организмов, которые были изучены по следам продуктов минерализации и численности водных микроорганизмов, можно выявить объем биохимических процессов, протекающих в воде. Так как микроорганизмы присутствуют в воде, характерные органические вещества могут давать результаты в пределах допустимых норм, свойственных водоемов того же района, результаты исследования опубликованы в работах С.Г. Харина и др. (2008). Запредельные нормы реакции за счет вспышки численности тех или иных микроорганизмов надо считать последствием тех или иных загрязнений природного и антропогенного происхождения (Кондратьева, Чухлебова, 2005).

Основными редуцентами разнообразных органических веществ в водной среде являются гетеротрофные бактерии, среди которых встречаются сапрофитные и миксотрофные формы. Высокая численность сапрофитных

микроорганизмов может служить показателем обилия в воде легкорасщепляемого органического вещества (Кондратьева и др., 2000).

Наблюдения за численностью гетеротрофных микроорганизмов были начаты с III вегетационного этапа 2011 г. На третьем вегетационном этапе в 2011 г. численность гетеротрофных организмов варьировалась от 3 до 500 тыс. кл/мл (рис. 7). Наименьшее количество бактерий данной группы обнаружено в воде водохранилища села Анновка (участок 4) – 3 тыс. кл/мл и в воде 3-го 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.

Вода остальных пунктов отбора проб по численности гетеротрофных микроорганизмов классифицировалась, как «грязная» (ГОСТ 17.1.2.04–77), так как их содержание находилось в пределах 150–500 тыс. кл/мл.

В течение вегетационного периода 2012 г. состояние вод исследованных водоемов соответствовало классам «загрязненные» и «грязные». Высокая численность гетеротрофов 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 третьем этапе, что, вероятно, связано с завершением процессов минерализации органических соединений, понижением температуры и нормальным количеством выпадающих осадков. Особенно это хорошо прослеживается в районе устья р. Ивановка, где, согласно количеству бактерий (45 кл/мл), воды относятся к классу «чистые».

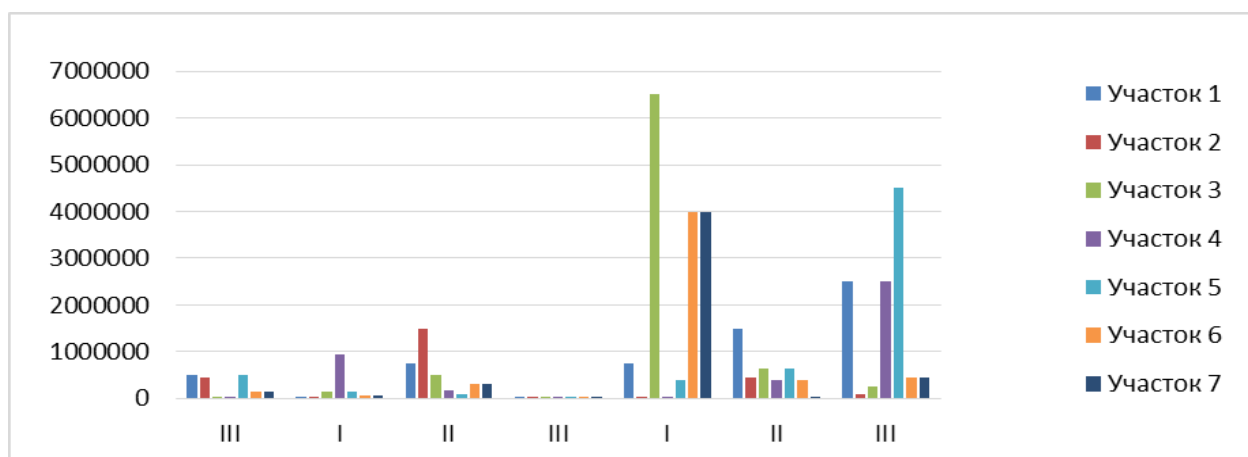


Рисунок 7 – Численность гетеротрофных сапрофитных бактерий в воде р. Ивановка, кл/мл.

Понижение численности микроорганизмов подтверждается и показателями биохимического потребления кислорода ($0,8 \text{ мг O}_2/\text{л}$), и вода классифицируется как «очень чистая». В течение вегетационного периода 2013 г. вода исследованных участков соответствовала классам «загрязненные» и «грязные» воды.

5.2. Оценка численности эколого-трофических групп микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота и фосфора

Биохимический цикл азота в природной воде можно представить следующим образом: $\text{N}_{\text{орг.}} \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_{\text{орг.}}$. При этом процессы аммонификации и нитрификации осуществляются бактериями, а минеральный азот превращается в органический в процессе фотосинтеза (Кондратьева и др., 2000; Шестеркин, Шестеркина, 2014; Фишер и др., 2015). Численность микроорганизмов, участвующих в цикле азота (аммонифицирующие бактерии, разлагающие ОВ до аммиака; нитрифицирующие бактерии, окисляющие аммиак до нитритов и нитратов), непостоянна, так как связана с различными биохимическими процессами.

Увеличение численности группы аммонифицирующих микроорганизмов

в структуре микробного сообщества служит показателем степени минерализации органического вещества белкового происхождения в водоеме. Низкая численность аммонифицирующих бактерий говорит о том, что в воде не содержатся белковые вещества на стадии деструкции или эти вещества трудноминерализуемые (Кондратьева и др., 2000). Вторая категория веществ может быть включена в процесс круговорота с момента контакта с нитрифицирующими бактериями.

На третьем вегетационном этапе в 2011 г. наблюдалось высокое содержание бактерий-аммонификаторов (250–300 тыс. кл/мл), что возможно, связано с низким содержанием в воде растворенного кислорода (3,8–6,7 мг O_2 /л), которое привело к торможению процесса нитрификации и образованию больших количеств аммонийного азота (1,5–4,3 ПДК). Это свидетельствует о слабо идущих процессах самоочищения в исследуемых водоемах (рис. 8).

В 2012 г. вода исследованных водоемов по содержанию аммонийного азота классифицировалась как «удовлетворительной чистоты», «загрязненная» и «грязная». Наиболее высокие концентрации аммония отмечены на первом этапе, когда зафиксированы максимальные количества аммонификаторов (4,5–250 тыс. кл/мл). На втором этапе по содержанию NH_4^+ наиболее загрязненной была вода р. Ивановка 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 и могло повлиять на микроорганизмы данной группы. На третьем вегетационном этапе по содержанию аммонийного азота вода классифицировалась как «удовлетворительной чистоты», и количество аммонийоокисляющих микроорганизмов было невысоким (25–2,5 тыс. кл/мл).

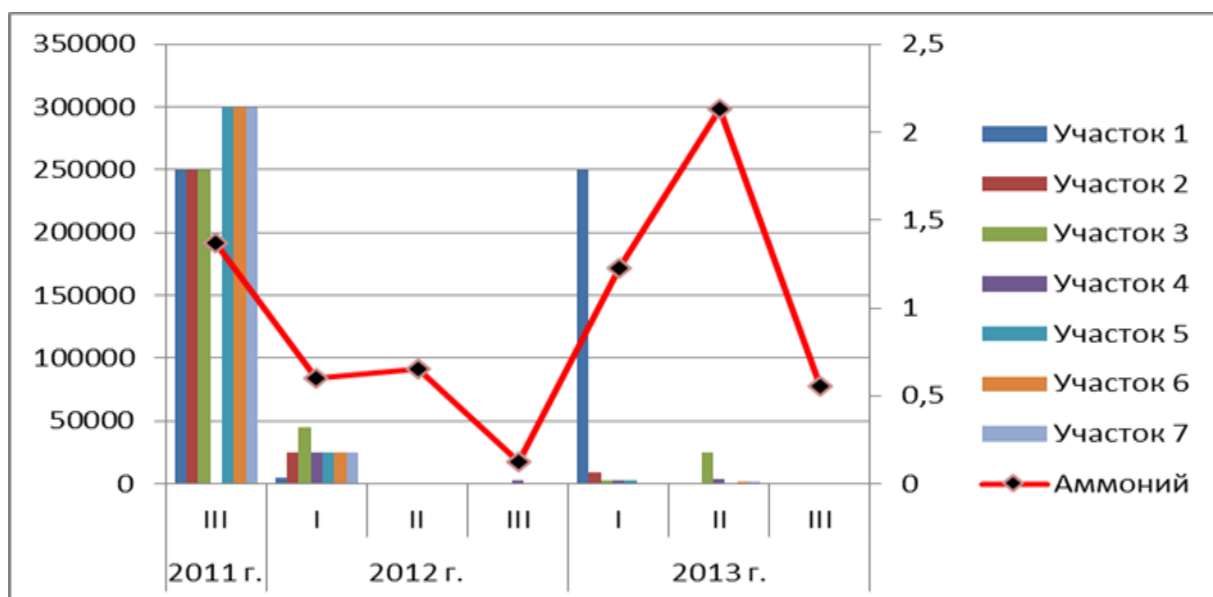


Рисунок 8 – Численность аммонийоокисляющих бактерий (кл/мл) и среднее содержание N-NH_4^+ (мг/л) в воде р. Ивановка в 2011–2013 гг.

В период исследований прослеживалась некоторая независимость численности аммонийоокисляющих бактерий от содержания в воде аммонийного азота. В некоторых случаях видна корреляция взаимного увеличения и спада, в иных случаях нет. Основным объяснением является, по-видимому, комплексное влияние факторов. Цветение аммонийоокисляющих бактерий не наступает при несоответствии температур и pH среды. Значительное влияние на интенсивность нитрификации оказывает концентрация растворенного в среде кислорода, нитритоокисляющие бактерии относятся к хемолиотоавтотрофам и являются облигатными аэробами. При этом замечено, что бактерии данной группы более чувствительны к пониженному содержанию кислорода, чем аммонийоокисляющие.

По количеству бактерий данной эколого-трофической группы прослеживается зависимость между их численностью и содержанием нитритного азота. Наиболее высокие показатели по содержанию NO_2^- (2,4–4,9 ПДК) отмечены в воде исследуемых участков на третьем этапе в 2011 г. В этот период зафиксировано и наибольшее количество нитритоокисляющих 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. 9).

Нитрификация является ключевым звеном в глобальном цикле азота. Под ней понимают процессы окисления аммиака до нитрита и нитрата (Теппер и др., 1979; Лебедева и др., 2007). Нитритокисляющие бактерии окисляют нитриты до нитратов (вторая фаза нитрификации). Увеличение численности нитритокисляющих бактерий свидетельствует об усилении процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления NO_2^- в NO_3^- , что указывает на загрязнение водного объекта, то есть является важным санитарным показателем (Ляликова, 1989). Значительное влияние на интенсивность нитрификации оказывает концентрация растворенного кислорода в среде, нитритокисляющие бактерии относятся к хемолитоавтотрофам и являются облигатными аэробами (Теппер и др., 1979). При этом замечено, что бактерии данной группы более чувствительны к пониженному содержанию кислорода, чем аммонийокисляющие (Ляликова, Лебедева, 1989).

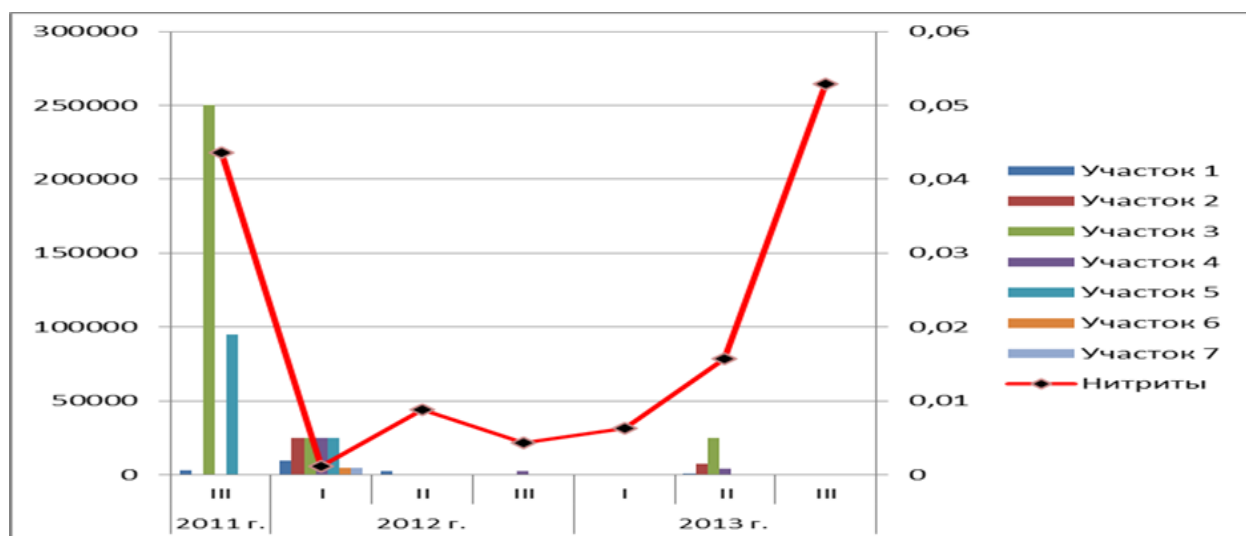


Рисунок 9 – Численность нитритокисляющих микроорганизмов (кл/мл) и среднее содержание нитритов NO_2^- (мг/л) в воде р. Ивановка.

Фосфор в водной среде преимущественно находится в связанной органической форме, от интенсивности микробиологической регенерации растворенного минерального фосфора зависит скорость его круговорота. Вопрос о роли микроорганизмов в процессе иммобилизации и мобилизации фосфора недостаточно изучен, и единого мнения среди специалистов нет (Илялетдинов, 1966; Хупер, 1977; Драбкова, Стравинская, 1989). Биогеохимический круговорот фосфора полностью незамкнут. Специфика круговорота фосфора связана с тем, что он не образует летучих соединений и плохо растворим в воде. В биосфере осуществляется однонаправленный поток фосфора из горных пород суши в глубины океана, и обменный фонд его в гидросфере очень ограничен. В этом процессе главная роль принадлежит микроорганизмам, поскольку они способны трансформировать соединения фосфора: минерализовать органические в неорганические фосфаты, переводить нерастворимые формы фосфата в растворимые, которые являются более доступными для потребления организмами, а также иммобилизовать фосфор. Эти превращения осуществляются широким кругом микроорганизмов.

Наблюдения за численностью фосфорокисляющих бактерий были начаты с III вегетационного этапа 2011 г. Наибольшее количество минерального фосфора отмечено на первом этапе 2012 г. (рис. 10) в воде, всех обследованных участков реки (2,2–3,9 ПДК). В это время наблюдалось и повышение содержания фосфорокисляющих бактерий (60–148 кл/мл). На втором этапе, вслед за снижением в воде ортофосфатов, происходило снижение численности бактерий данной группы, что, возможно, связано с интенсивным развитием планктона. На третьем этапе класс качества вод всех участков соответствовал классу «загрязненные», численность бактерий данной группы находилась в пределах 48–106 кл/мл. В 2013 г., в течение летнего вегетационного периода, содержание фосфорокисляющих бактерий отмечено на первом и втором этапах, численность бактерий данной группы составляла 68–412 кл/мл, вода соответствовала классу «грязная».

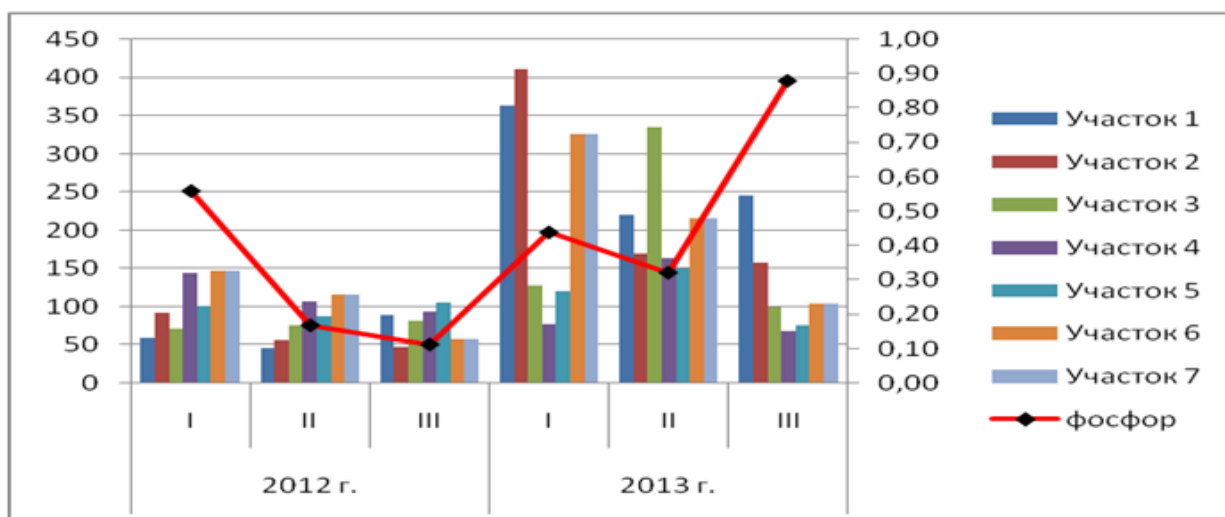


Рисунок 10 – Численность фосфороксилирующих бактерий (кл/мл) и содержание $P_{мин.}$ (мг/л) в воде р. Ивановка.

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

5.3. Зависимость численности микроорганизмов, принимающих участие в круговороте азота и концентрации окисляющего вещества (на примере 2012 г.)

После изучения объекта исследования возникает ряд представлений о действии различных факторов и необходимость получить экспериментальные данные об их совокупном влиянии на какой-либо показатель, характеризующий объект исследования. Комплексное исследование методов химического анализа и биологического контроля позволяет получить более точную, интегральную оценку состояния малых рек.

Применение современных статистических методов планирования многофакторных экспериментов позволяет выделить наиболее активные факторы и не исследовать факторы, оказывающие незначительное влияние на

объект исследования. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовалась методика полного факторного эксперимента, проведено исследование функции методом наименьших квадратов (Адлер и др., 1976, 2007).

Нами была исследована зависимость численности аммонийоокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания аммонийного, нитритного, нитратного азота. Корреляционный анализ взаимозависимого влияния факторов показал следующее: численность аммонийоокисляющих бактерий в зависимости от роста концентрации нитритного и нитратного азота имеет максимальные значения в средних показателях, в результате чего происходит увеличение численности аммонийоокисляющих микроорганизмов, а потом численность начинает снижаться. Любые краевые показатели сильно снижают численность бактерий данной группы (рис.11).

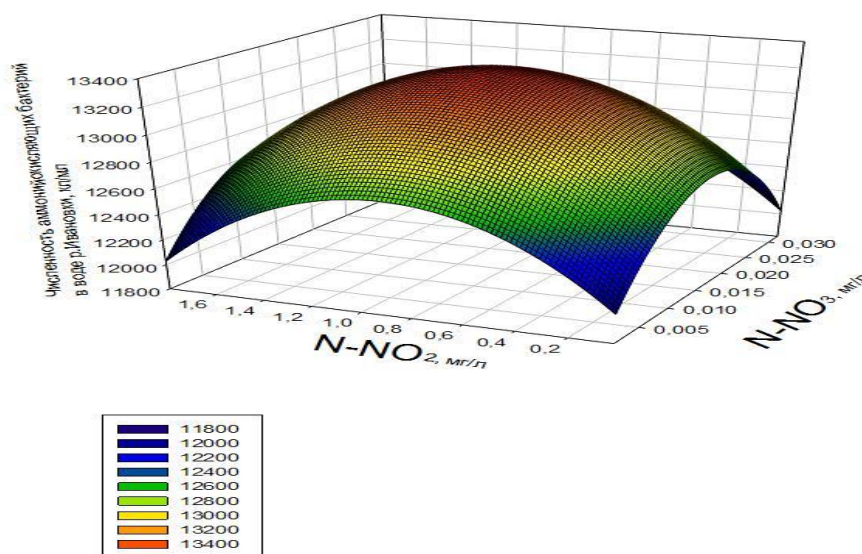


Рисунок 11 – Численность аммонийоокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания нитритного и нитратного азота.

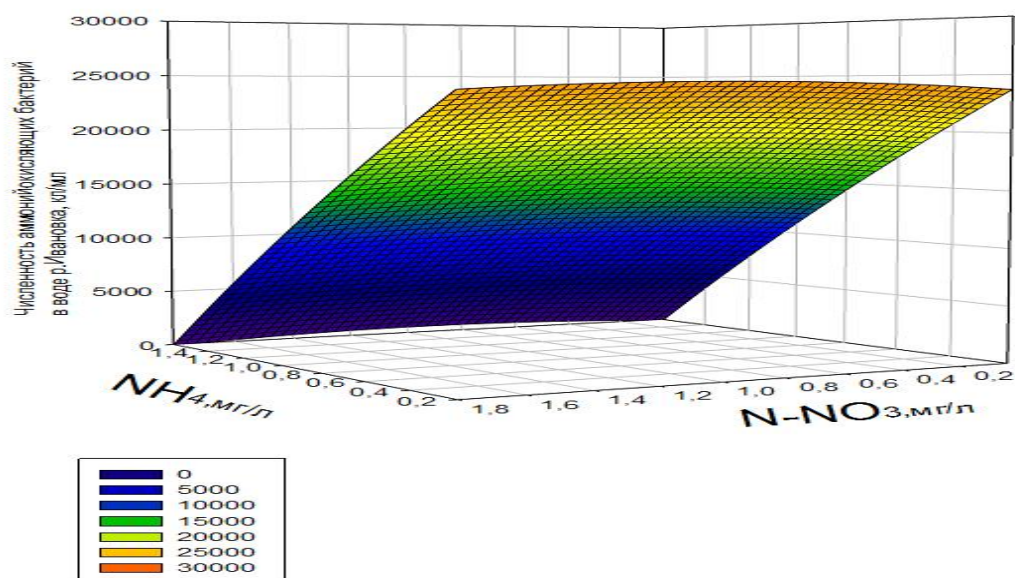


Рисунок 12 – Численность аммонийокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания аммонийного и нитратного азота.

Численность аммонийокисляющих бактерий при сочетании с аммонийным и нитратным азотом не имеет предела оптимума и может постоянно расти. Если и есть предел оптимума, то он достигается при больших концентрациях, которых нет в речной воде (рис. 12). Данное предположение основано на данных следующей диаграммы, когда купирование, возможно, произойдет при закрытии последнего эллипса, при этом должны быть высокие концентрации нитритного азота (рис. 13).

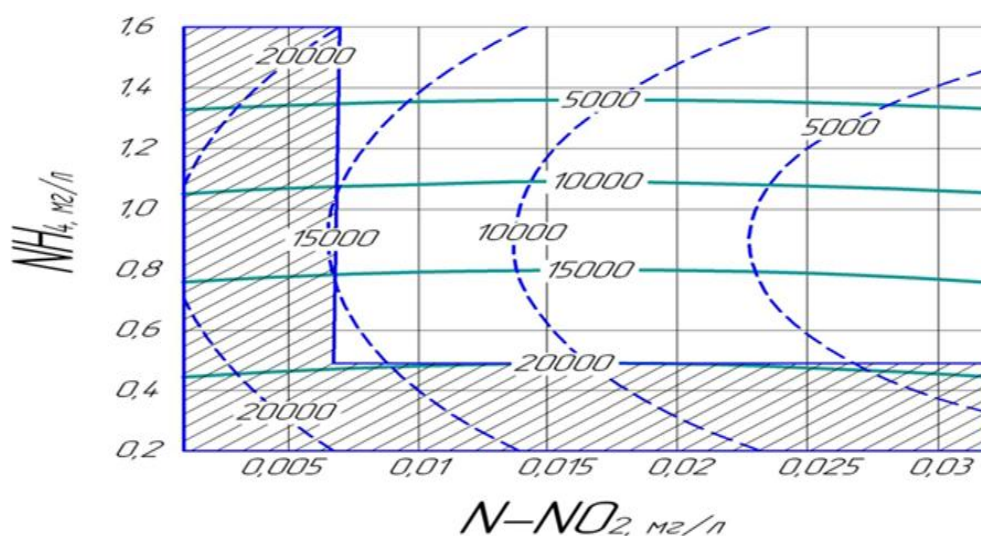


Рисунок 13 – Наложение сечений поверхностей отклика численности аммонийокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания нитритного азота.

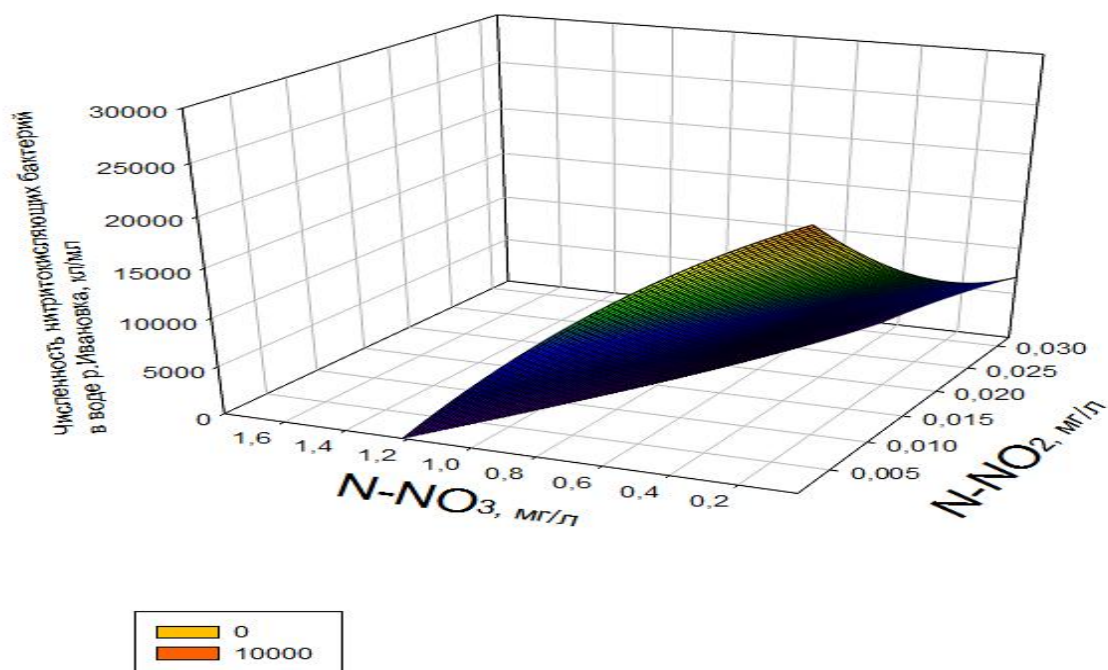


Рисунок 14 – Численность нитритокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания нитритного и нитратного азота.

Таким образом, концентрации неорганических форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного) определяют численность бактерий данной эколого-трофической группы. Также нами была исследована зависимость численности нитритокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. от концентраций неорганических форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного). Численность нитритокисляющих бактерий при повышении нитритного и нитратного азота, стабильно растет (рис. 14). Такое же явление прослеживается при увеличении концентрации аммонийного и нитратного азота (рис. 15). При увеличении аммонийного и нитритного азота увеличение численности бактерий происходит не сразу. Скорее всего, в данном случае имеются 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.

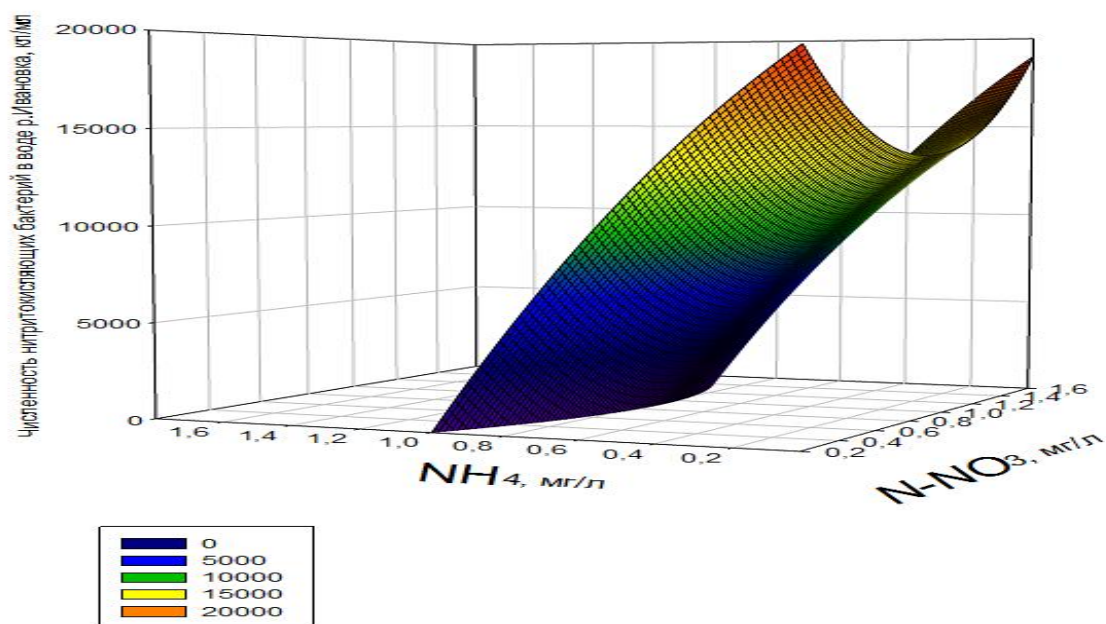


Рисунок 15 – Численность нитритокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания аммонийного и нитратного азота.

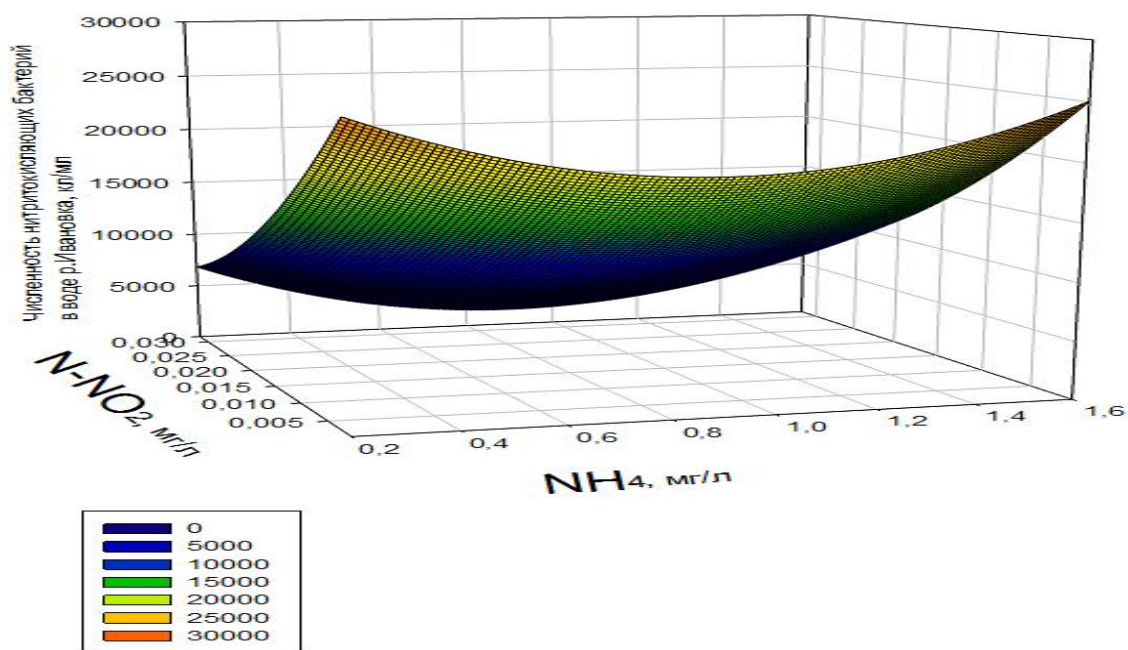


Рисунок 16 – Численность нитритокисляющих бактерий в воде р. Ивановка в 2012 г. в зависимости от содержания аммонийного и нитритного азота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивость функционирования экосистемы любой крупной реки обеспечивается функционирование комплекса малых рек в их водосборном бассейне. Это обычно группа мелководных, но как показывает практика очень устойчивых рек с большим запасом гомеостаза, которая обеспечивается стабильностью биохимических и физических факторов и географической особенностью ландшафта и русла. В зависимости от масштабов и специфики загрязнения можно судить о степени развитости водной экосистемы.

Наши результаты показывают, что малые реки очень чувствительны к антропогенным нагрузкам. Так, впервые для Амурской области была изучена способность к самовосстановлению и саморегуляции реки, отнесенной к малым, из водосборного бассейна р. Амур в условиях постоянно возрастающего антропогенного загрязнения.

Мониторинг кислородных показателей, в течение 3 лет наблюдений, не выявил заметных различий в состоянии среды. В основном, их колебания вызваны сезонными изменениями температуры. Кислородный режим во все годы и периоды оставался удовлетворительным, за исключением участков со значительным антропогенным воздействием. Из-за поступления в воду реки почвенного гумуса, растительных остатков с полей и пастбищ, стоков с Ерковецкого угольного разреза наблюдаются нарушения экологических нормативов по показателям растворенного органического вещества. Самые высокие концентрации органических соединений наблюдаются на участках реки, где присутствуют животноводческие стоки в комплексе со сточными водами угольного разреза, что свидетельствует о неблагоприятной экологической ситуации.

Для фонового участка этой реки характерны высокие показатели содержания органических веществ: ПО – 2,5–3,4 ПДК; ХПК– 1,6–2,2 ПДК. Для р. Ивановка характерны черты равнинных, медленно текущих рек,

усугубленные малой глубиной и обилием водной растительности.

Во всех случаях превышение концентрации азота было связано с обильными дождевыми осадками, приносящими в водоем почвенные смывы с полей и пастбищ. В этих смывах находятся азотсодержащие удобрения, которых особенно много в местах выращивания сои. Увеличение содержания этого элемента в конце вегетационного периода может также происходить за счет деструкции естественной органики.

Содержание ионов железа в течение всех лет исследования превышало ПДК в 1–3 раза, что обусловлено особенностями подстилающих пород в данном регионе. Изучение динамики средних показателей Mn^{2+} по периодам вегетации показывает, что на первом этапе вегетационного периода фотосинтезирующие организмы набирают свою максимальную биомассу и активно расходуют его запасы в воде. К осени, с процессом их деструкции, Mn^{2+} возвращается в воду и его концентрация возрастает.

Основными редуцентами разнообразных органических веществ в водной среде являются гетеротрофные бактерии. Низкие показатели численности гетеротрофных организмов в воде могут быть связаны с массовым цветением водорослей, поскольку они могут отрицательно влиять на количество определенных бактерий, например, гетеротрофов. Сухая жаркая погода активизирует процессы первичного продуцирования, в результате чего происходит повышение численности гетеротрофов. Состояние воды р. Ивановка соответствовало классам «загрязненные» и «грязные», поскольку содержание в них бактерий составило 150–500 тыс. кл/мл.

В засушливые годы наблюдается высокое содержание бактерий-аммонификаторов (250–300 тыс. кл/мл). Вероятно, это связано с низким содержанием в воде растворенного кислорода (3,8–6,7 мг O_2 /л), которое приводит к торможению процесса нитрификации.

В обычные годы по содержанию аммонийного азота вода классифицировалась как «удовлетворительной чистоты», количество аммонийоокисляющих микроорганизмов было невысоким (25–2,5 тыс. 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.

В 2011 г. было зафиксировано наибольшее количество нитритоокисляющих бактерий (0,3–250 тыс. кл/мл). В 2012–2013 гг. бактерии, окисляющие нитриты до нитратов, были 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.

По численности фосфорокисляющих бактерий в 2012 г. вода на всех участках реки соответствовала классу «загрязненные». В 2013 г., в течение летнего вегетационного периода, содержание фосфорокисляющих бактерий отмечено на первом и втором этапах, численность бактерий данной группы составляла 68–412 кл/мл, вода соответствовала классу «грязная».

Корреляционный анализ взаимозависимого влияния факторов показал, что численность аммонийоокисляющих бактерий, в зависимости от роста концентрации нитритного и нитратного азота, имеет максимальное значение в средних показателях, в результате чего происходит увеличение численности аммонийоокисляющих микроорганизмов, а затем численность начинает снижаться. Любые краевые показатели значительно снижают численность бактерий в данной группе. При повышении нитритного и нитратного азота численность нитритоокисляющих бактерий стабильно растет. Такое же явление прослеживается при увеличении концентрации аммонийного и нитратного азота.

Результаты, полученные автором в ходе решения поставленных в диссертации задач исследования, позволяют сформулировать следующие выводы.

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 ($1,7\text{--}3,8$ мг $\text{O}_2/\text{л}$) 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 аммонийоокисляющих и нитритоокисляющих бактерий. К осени численность последних постепенно сокращается и сменяется на растущее число фосforoокисляющих микроорганизмов. Из эколого-трофических групп микроорганизмов, по максимальным значениям численности преобладают фосforoокисляющие 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 аммонийоокисляющих бактерий не имеет предела оптимума и может 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 раз, БПК₅ на участках 4, 5, 6 устойчиво соответствует классу «грязная» из-за превышения ПДК в 1,1–1,9 раз. 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А.Б. Водохранилища / А.Б. Авакян, В.П. Салтанкин, В.А. Шарапов. – М.: Мысль. 1987. 325 с.
2. Авакян А.Б. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / А.Б. Авакян, Г.В. Воропаев. – М.: Наука. 1986. 293 с.
3. Агрометеорологический обзор по Амурской области. – Благовещенск. 2011. – 8 с.
4. Агрометеорологический обзор по Амурской области. – Благовещенск. 2012. – 8 с.
5. Агрометеорологический обзор по Амурской области. – Благовещенск. 2013. – 8 с.
6. Агрохимикаты в окружающей среде / Э. Хайниш, Х. Паукке, Г.Н. Нагель; Пер. с немец. и предисл. Н.Г. Ракипова. – М.: Колос. 1979. 357 с.
7. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука. 1976. 279 с.
8. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат. 1970. 296 с.
9. Александрова Н.Г. Комплексная оценка качества воды низовья Днепра / Н.Г. Александрова, Т.Г. Морзова, В.С. Полищук, Э.Я. Россова // Водные ресурсы. 1985. № 6. С. 119–127.
10. Алексеевский, Н.И. Малые реки как объект исследований / Н.И. Алексеевский, В.М. Евстигнеев, Н.И. Коронкевич, С.В. Ясинский // Сборник: Малые реки волжского бассейна. – М.: 1998. С. 7–20.
11. Амурская область. Опыт энциклопедического словаря / науч. ред. В.В. Воробьев, А.П. Деревянко, ред.- сост., Н.К. Шульман. – Хабаровское книжное изд-во, Амурское отделение. – Благовещенск. 1989. 414 с.
12. Андриянова Л.А. Групповой состав гумуса бурых лесных почв Амурской области // Материалы XVIII науч. конф. – БСХИ. 1971. Т. 6. Вып. 2. С. 94–95.

13. Андриянова Л.А. Групповой и фракционный состав гумуса основных типов почв Зейско-Буреинской равнины / Л.А. Андриянова, В.С. Онищук // Материалы XIX научной конференции дальневосточного научно-исследовательского института сел. хоз-ва, БСХИ. Благовещенск. 1976. С. 17–20.
14. Аношкин А.В. Антропогенное преобразование пойменно-русловых комплексов рек европейской автономной области // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Хабаровск. 2011. 21 с.
15. Артемьев В.Е. Геохимия органического вещества в системе река-море / В.Е. Артемьев. – М.: Наука. 1993. 204 с.
16. Березина Н.А. Влияние рН среды на пресноводных беспозвоночных в экстремальных условиях / Н.А. Березина // Экология. 2001. № 5. С. 372–381.
17. Биоиндикация и биомониторинг. – М.: Наука. 1991. 288 с.
18. Большой практикум по микробиологии / Под ред. Г.Л. Селибера. М.: Высшая школа. 1962. 491 с.
19. Бойченко В.К. К вопросу о загрязнении и самоочищении воды в малой реке / В.К. Бойченко, Л.О. Эйно, В.Ф. Ланцов, Н.Г. Дмитриева, О.П. Букреева, Н.П. Шимица // Водные ресурсы. 1986. № 2 С. 102–110.
20. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов / В.Ф. Бреховских. М.: Наука. 1988. 168 с.
21. Веницианов Е.В. Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана / Е.В. Веницианов, Г.В. Аджиенко, Н.М. Щеголькова // Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции. Борок. 2014. Т. I. С. 23–42.
22. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. М.: АН СССР. 1960. Т. 5. 422 с.
23. Вернадский В.И. Избранные сочинения: в 6 Т. / В.И. Вернадский. М.: Изд-во АН СССР. 1969. Т. 5. С. 8–102.
24. Вейдеман Е.Л. Комплексные исследования воздействия загрязнения на морские прибрежные экосистемы / Е.Л. Вейдеман, С.А. Черкашин, Е.Е. Щеглов // Тр. ДВНИИ. 1987. Вып. 131. С. 30–40.

25. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов / Г.Г. Вернадский. Минск: АН БССР. 1960. 329 с.
26. Водогрецкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек: Монография / В.Е. Водогрецкий. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 176 с.
27. Воронова Ю.В. Учебное пособие для студентов заочного отделения факультета водоснабжения и водоотведения / Ю.В. Воронова, А.Л. Ивчатова. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. 2005. 576 с.
28. Воронов Б.А. Преобразование экосистем Приамурья в условиях глобального изменения климата и антропогенных воздействий / Б.А. Воронов // «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата»: Материалы V Дружининских чтений. Хабаровск. ИВЭП ДВО РАН. 2014. С. 34–38.
29. Восстановление и охрана малых рек: Теория и практика / Пер. с англ. А.Э. Габриэлян, Ю.А. Смирнова / Под ред. К.К. Эдельштейна, М.И. Сахаровой. М.: Агропромиздат. 1989. 317 с.
30. Гак Д.З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ / Д.З. Гак. М.: Наука. 1975. 254 с.
31. Гаретова Л.А. Экологическое состояние малых водотоков г. Хабаровска // Л.А. Гаретова, С.И. Левшина // Современные проблемы регионального развития: Материалы I межрегион. научн. конф. Хабаровск: ДВО РАН. 2006. С. 60–62.
32. Гаретова Л.А. Бактериопланктон речных экосистем горно-таежной зоны / Л.А. Гаретова, С.И. Левшина // Биология внутренних вод. 2007. № 4. С. 25–33.
33. Гаретова Л.А. Микробиологическая оценка экологического риска и экологического ущерба качеству воды малых водотоков / Л.А. Гаретова // Регионы нового освоения: экологические проблемы, пути решения: Материалы межрегион. науч.-практ. конф. Хабаровск: ДВО РАН. 2008. Кн. 2. С. 522–525.
34. Гаретова Л.А. Распределение органического вещества, фитопигмента и гетеротрофных бактерий вдоль градиента солености в эстуариях малых рек бассейна Татарского пролива / Л.А. Гаретова, С.И. Левшина, Н.К. Фишер, С.Е.

Сиротский, В.П. Шестеркин // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. Т. 184. 2016. С. 219–235.

35. Голов Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. Владивосток: Дальнаука. 2001. 162 с.

36. Гончаренко Н.И. Проблемы сохранения биоразнообразия и некоторые аспекты массовой гибели рыб в природных водах / Н.И. Гончаренко // Сохранение биоразнообразия бассейна Днестра. Материалы Международной конференции. Кишинев: Экологическое общество «БИОТИСА». 1999. С. 48–50.

37. Гончарова Т.О. О природе гуминовых кислот, фульвокислот и лигнина / Т.О. Гончарова, В.Т. Криульков, В.Т. Панюшкин, В.Т. Каплин // Гидрохим. Материалы. Л.: Гидрометеиздат. 1968. С. 112–115.

38. Громов Б.В. Экология бактерий / Б.В. Громов, Г.В. Павленко. Л.: Изд-во ЛГУ. 1989. 246 с.

39. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1988. 30 с.

40. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. М.: Стандартиформ. 2004. 7 с.

41. ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие условия. М.: Московский печатник. 2003. 6 с.

42. ГОСТ Р 51592-2000 Общие требования к отбору проб. М.: Стандартиформ. 2008. 45 с.

43. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 18. Дальний восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат. 1979. 18 с.

44. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2009 году / под ред. В.М. Шихалева. Хабаровск: ООО «Амурпринт». 2010. 258 с.

45. Государственный доклад «Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 г.». М.: 2013. 178 с.

46. Государственный доклад «Об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области за 2011 год» / под ред. В.Ю. Офицера. Благовещенск. 2012. 150 с.
47. Государственный доклад об охране окружающей среды и экологической ситуации в амурской области. Благовещенск: ДальГАУ. 2014. 215 с.
48. Двинских С.А. Экологическое состояние малых рек города Перми / С.А. Двинских, А.Б. Китаев // Географический вестник. 2011. № 2. С. 32–43.
49. Дзюба Е.В. / Е.В. Дзюба, Н.Л. Бельмакова, Е.В. Суханова, Н.Н. Деникина // Гетеротрофные микроорганизмы-индикаторы среды обитания в условиях искусственного разведения рыб // Вода: химия и экология. 2015. № 12. С. 91–98.
50. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 года. Ч. 1. Владивосток: Дальнаука. 1993. 189 с.
51. Драбкова В.Г. Интенсивность круговорота фосфора в озерах разного уровня трофии / В.Г. Драбкова, Е.А. Стравинская // Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озер. Л.: Наука. 1989. С. 243–252.
52. Дубах А.Д. Лес как гидрологический фактор. М.: Гослесбумиздат. 1951. 160 с.
53. Дыга А.К. Влияние активной реакции воды на отдельных представителей зоопланктона и микрозообентоса в связи с промышленным загрязнением водоемов / А.К. Дыга, В.И. Золотарева // Водные ресурсы. 1983. № 5. С. 105–107.
54. Евсеева А.В. Фосфор как индикатор качества вод рек Южного приморья / А.В. Евсеева, Н.К. Христофорова // Электронный журнал «Исследовано в России». 2004. № 161. С. 1740–1747.
55. Ермолин В.П. Распределение энергии в экосистеме Саратовского водохранилища / В.П. Ермолин // Вопросы экологии и охраны природы в Нижнем Поволжье. Саратов: Изд-во Саратовского университета. 1986. С. 96–100.

56. Журавель Е.Ю. Опыт применения химических и микробиологических методов для оценки качества прибрежных вод / Е.Ю. Журавель // Микробная индикация и рекомендация. Материалы первой международной школы. Владивосток. 2004. С. 65–79.
57. Заличева И.Н. Эколого-токсикологические аспекты устойчивости гидробионтов таежной природно-климатической зоны к закислению водной среды / И.Н. Заличева, В.С. Ганина, Н.К. Шустова // Экология. 2006. № 1. С. 64–69.
58. Зверева В.П. Оценка влияния золоотвалов теплоэлектростанций на объекты окружающей среды (на юге Дальнего Востока) / В.П. Зверева, Л.Т. Крупская // Экологическая химия. 2012. Т. 21. № 4. С. 225–233.
59. Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов / Б.А. Зимовец. М.: Наука. 1966. 166 с.
60. Зенин А.А. Гидрохимический словарь / А.А. Зени, Н.В. Белоусова. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 240 с.
61. Илялетдинов А.Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений / А.Н. Илялетдинов. Алма-Ата: Наука. 1966. 331 с.
62. Ивлев А.М. Агрохимия почв Дальнего Востока / А.М. Ивлев. М.: Круглый год. 2001. 100 с.
63. Информационный отчет о результатах работ по мониторингу малых водохранилищ и гидротехнических сооружений на малых водоемах Амурской области / Амурская гидрогеолого-мелиоративная партия – филиал ФГУ «Управление «Амурмелиоводхоз». 2004. Т.1. 178 с.
64. Колесникова Л.Г. Гидрохимическая характеристика природных озер Амурской области / Л.Г. Колесникова, В.А. Кашина, Ф.А. Жуков // Сб. науч. тр. Эколого-географическое районирование территории Зейско-Буреинской равнины по качеству питьевых подземных вод. Благовещенск. 1999. С. 24–25.
65. Кольцов А.С. Сельскохозяйственная экология / А.С. Кольцов. – Учебно-справочное пособие. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та. 1995. 275 с.
66. Колесникова Т.П. Химико-экологическая оценка состояния

водохранилищ Южной зоны Амурской области // Автореф. дис... канд. биол. наук. Благовещенск. 2009. 22 с.

67. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О.Л. Юшманов В.В. Шабанов, И.Г. Галямина и др. М.: Агропромиздат. 1985. 303 с.

68. Коннов В.И. Особенности и экологические проблемы малых рек Читинской области / В.И. Коннов // Проблемы Региональной Экологии. 2007. № 2. С. 45–50.

69. Кондратьева Л.М. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / Л.М. Кондратьева, Л.А. Гаретова, Е.Л. Имранова, О.А. Кириенко, Л.М. Чухлебowa, Е.А. Каретникова. Владивосток: Дальнаука. 2000. 198 с.

70. Кондратьева Л.М. Микробиологическая оценка сезонного формирования качества воды в Бурейском водохранилище / Л.М. Кондратьева, Л.М. Чухлебowa // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Материалы всероссийской научно-практической конференции. Хабаровск. 2005. С. 78–81.

71. Константинов А.С. Общая характеристика экосистемы Волгоградского водохранилища / А.С. Константинов // Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд-во Саратовского университета. 1977. С. 188–207.

72. Конторович А.Э. Нефтяная промышленность Дальнего Востока: современное состояние и перспективы развития / А.Э. Конторович, Л.В. Эдер, И.В. Филимонов, В.Ю. Немов, И.В. Проворная // Бурение и нефть. 2013. № 7–8. С. 3–9.

73. Коржубаев А.Г. Формирование новых центров нефтегазового комплекса на Востоке России / А.Г. Коржубаев, И.В. Филимонова, Л.В. Эдер // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2013. № 1. С. 34–45.

74. Крамаренко В.Ф. Токсикологическая химия / В.Ф. Крамаренко. К.: Высшая школа. Головное изд-во. 1989. 447 с.

75. Крейнин Е.В. Парниковый эффект: причины, прогнозы, рекомендации / Е.В. Крейнин // Экология промышленности России. 2005. № 7. С. 18–23.

76. Кузнецов, С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / С.И.

Кузнецов, Г.А. Дубинин. М.: НАУКА. 1989. – 288 С.

77. Кутинова Л.А. Коловратки фауны СССР / Л.А. Кутинова. Л.: 1970. 744 с.

78. Кутинова Л.А. Коловратки речного планктона как показатели качества вод // Методы биологического анализа пресных вод / Л.А. Кутинова. Л.: Наука, 1976. С. 80–90.

79. Кутинова Л.А. Класс коловратки вод / Л.А. Кутинова // Фауна аэротенков (Атлас). Л.: Наука. 1984. С. 187–211.

80. Кутырин И.М. Охрана водных объектов от загрязнений / И.М. Кутырин. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 40 с.

81. Лаптев И.П. Сельское хозяйство и охрана природы / И.П. Лаптев. М.: Колос. 1982. 214 с.

82. Лебедева Е.В. Новые нитрифицирующие прокариоты из термальных мест обитания / Е.В. Лебедева, Р. Хатценпичлер, Ф. Майкснер, М. Алави, Е. Спик, Х. Даймс // Международная научная конференция «Микроорганизмы и биосфера» М.: 2007. С. 80–81.

83. Левшина С.И. Содержание органических веществ в воде р. Амур и проблемы водоподготовки / С.И. Левшина, А.Г. Жуков // Регионы нового освоения: стратегия развития: Материалы международной научной конференции. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2004. С. 130–132.

84. Левшина С.И. Влияние геохимической подвижности органического вещества почв на состав речных вод в бассейне Амура / С.И. Левшина, Л.А. Матюшкина // Гуминовые вещества в биосфере: тезисы докладов 3-й Всероссийской конференции – СПб.: Изд-во СПб. ун-та. 2005. С. 33–34.

85. Левшина С.И. Органическое вещество в поверхностных водах бассейна р. Амур / С.И. Левшина // Биогеохим. и геоэкол. процессы в экосистемах. – Владивосток: Дальнаука. 2005. Вып. 15. С. 218–225.

86. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод / Ю.Ю. Лурье. М.: Химия. 1973. 248 с.

87. Лурье Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю. Ю. Лурье, А.И. Рыбников. М.: Химия. 1974. 335 с.

88. Луценко Т.Н. Пространственно-временная динамика химического состава речных вод российской части бассейна реки Уссури / Т.Н. Луценко, В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Водное хозяйство России. 2013. № 3. С. 65–80.
89. Львович М.И. Человек и вода: Преобразование баланса и речного стока / М.И. Львович. М.: Изд. «География». 1963. 568 с.
90. Ляликова Н.Н. Нитрифицирующие бактерии и их роль в природе / Н.Н. Ляликова, Е.В. Лебедева // Хемосинтез. М.: Наука. 1989. С. 32–47.
91. Макиша Н.А. Удаление аммонийного азота в процессе биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод / Н.А. Макиша // Водоочистка. 2011. № 8. С. 34–42.
92. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / А.В. Макрушин. Л.: 1974. 60 с.
93. Макрушин А.В. Биоиндикация загрязнений внутренних водоемов / А.В. Макрушин // Биологические методы оценки природной среды. – М.: Наука. 1978. С. 123–137.
94. Малые реки России: Использование, регулирование, охрана, методы водохозяйственных расчетов. – Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во. 1988. 316 с.
95. Малые реки волжского бассейна / Под ред. Н.И. Алексеевского. – М.: 1998. С. 164–166.
96. Маслов А.В. Влияние природных и антропогенных факторов на водный баланс малых рек / А.В. Маслов, А.В. Шаликовский, Т.Л. Шильникова // Вестн. Чит. гос. техн. ун-та. 1997. № 4. С. 9–15.
97. Маслов Г.Г. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента / Г.Г. Маслов, О.Н. Дидманидзе, В.В. Цибулевский. Учебное пособие для сельскохозяйственных вузов. – М.: УМЦ «Триада». 2007. 292 с.
98. Методы химического анализа в гидробиологических исследованиях. – Владивосток. 1979. 127 с.
99. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / под ред. Л.М. Кондратьевой. – Владивосток: Дальнаука. 2000. 198 с.

100. Михайлов В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. Учебник для вузов. 2-е изд. исп. – М.: Высшая школа. 2007. 463 с.
101. Моисеенко Т.И. Влияние закисления на водные экосистемы / Т.И. Моисеенко // Экология. 2005. № 2. С. 110–119.
102. Музипов Х.П. Обеспечение экологической безопасности предприятий нефтегазодобывающей отрасли / Х.П. Музипов // Нефтяное хозяйство. 2009. № 1. С. 92–94.
103. Нерестенко А.Д. Экономика регионов российского Дальнего Востока в XX веке / А.Д. Нерестенко, М.М. Кулеш. – Владивосток: ДВГАУ. 2000. 164 с.
104. Никаноров А.М. Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в арктические и тихоокеанские моря / А.М. Никаноров, М.П. Смирнов, О.А. Клименко // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. С. 318–328.
105. Обожин В.Н. Гидрохимия рек и озер Бурятии / В.Н. Обожин, В.Т. Богданов, Л.Ф. Кликунова. Новосибирск: Наука. 1984. 150 с.
106. Одрова Т.В. Гидрофизика водоемов суши / Т.В. Одрова. – Л.: Гидрометеиздат. 1979. 312 с.
107. Олейник Г.Н. Реакция биктериопланктона как индикатор изменений в экосистеме водоемов в результате антропогенного загрязнения / Г.Н. Олейник, В.М. Якушин, Т.Н. Кабанова // Гидробиологический журнал. – 1996. Т. 32. № 2. С. 29–41.
108. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. М.: МГУ. 1990. 325 с.
109. Пакурина А.П. Проблемы экологии водных объектов Амурской области / А.П. Пакурина, Т.П. Платонова, С.А. Лобарев // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: сборник статей XI Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА – Пенза: РИО ПГСХА. 2013. С. 85–88.
110. Пакурина А.П. Экологическая оценка ресурсов малых рек Амурской области / А.П. Пакурина, Т.П. Платонова // Проблемы региональной экологии.

2014. № 2. С. 38–43.

111. Парфенова В.В. Фосфатомобилизующие микроорганизмы в водной среде озер различной трофности / В.В. Парфенова, А.Н. Илялетдинов, К.Ш. Бакирова, М.И. Новожилова, Л.П. Пономарева // Водные ресурсы. 1993. Т. 20. № 1. С. 24–31.

112. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высш. Школа. 1989. 528 с.

113. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М.: Астерия. 1999. 768 с.

114. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот // Автореф. дис. ... д-ра хим. наук – М.: МГУ. 2000. 50 с.

115. Платонова Т.П. Эколого-химическая оценка качества вод озера агроландшафта (на примере оз. Хомутина Амурской области). / Т.П. Платонова, А.П. Пакурина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. Т. 95. № 9. С. 49–52.

116. Платонова Т.П. Экологическая оценка состояния поверхностных вод Амурской области / Дальневосточный аграрный вестник // Т.П. Платонова, А.П. Пакурина. 2012. № 1(21) С. 26–31.

117. Платонова Т.П. Оценка экологического состояния малых рек Амуро-Зейской равнины / Т.П. Платонова, А.П. Пакурина, А.В. Бондалет // Естественные и технические науки. 2012. № 2. С. 113–118.

118. Платонова Т.П. Содержание микроэлементов в водах левобережных притоков Амура / Т.П. Платонова, А.П. Пакурина, О.В. Тарасенко, С.А. Лобарев // Проблемы экологии Верхнего Приамурья: Сб. науч. тр. / под ред. Л.Г. Колесниковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ. 2013. № 15. С. 25–29.

119. Платонова Т.П. Эколого-химическая оценка состояния малой реки Зейско-Буреинской равнины (на примере реки Гильчин) / Т.П. Платонова, А.П. Пакурина, О.В. Тарасенко, С.А. Лобарев // Перспективы науки. 2013. № 10 (49). С. 196–200.

120. Подорванова Н.Ф. Основные черты гидрохимии залива Петра Великого (Японское море) / Н.Ф. Подорванова, Т.С. Иващинникова, В.С. Петренко, Л.С.

Хомичук. – Владивосток: ДВО АН СССР. 1989. 201 с.

121. Подорванова Н.Ф. Химический анализ природных вод / Н.Ф. Подорванова, Б.Б., Чернов. – Владивосток: ДВОРАН СССР. 1997. 122 с.

122. Позднякова А.Н. Биохимическое потребление кислорода / А.Н. Позднякова // Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 335–340.

123. Практическое руководство по оценке экологического состояния малых рек: Учебное пособие для сети общественного экологического мониторинга / Под ред. д.б.н. В.В. Скворцова. Изд. 2-е, перераб. и доп. – СПб.: «Крисмас⁺». 2006. 176 с.

124. Прокопчук В.Ф. Почвы Зейско-Буреинской равнины и их трансформация в процессе сельскохозяйственного использования // Зейско-Буреинская равнина: проблемы устойчивого развития / Материалы Амурской научно-практической конференции – Благовещенск: Изд-во БГПУ. 2001. С. 64–71.

125. Пустовойтов Н.Д. Сезонно-мерзлотные почвы и их мелиорация / Н.Д. Пустовойтов. – М.: «Наука». 1971. 230 с.

126. Романовский В.В. Изучение скорости осаждения крупных наносов В.В. Романовский // Тр. ГГИ. 1966. Вып. 132. С. 90–109.

127. Романенко В.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство / В.И. Романенко, С.И. Кузнецов. – Л.: Наука. 1970. 194 с.

128. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах / В.И. Романенко. – Л.: Наука. 1985. 294 с.

129. Рохмистров В.Л. Малые реки Ярославской области Поволжья / В.Л. Рохмистров. – Ярославль: Издание ВВО РЭА. 2004. 54 с.

130. Рубцова С.И. Влияние абиотических факторов на численность нефтеокисляющих бактерий в прибрежных районах Черного моря / С.И. Рубцова, В.Н. Егоров // Экология моря. 2004. Вып. 66. С. 91–99.

131. Рубцова С.И. Гетеротрофные бактерии – показатели загрязнения и самоочищения морской среды / С.И. Рубцова // Экология моря. 2001. Вып. 62. С. 81–84.
132. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат. 1977. 541 с.
133. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / Под ред. А.В. Цыбань. – Л.: Гимиз, 1980. 190 с.
134. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана – М.: ВНИРО. 2003. 202 с.
135. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – М.: Минздрав России. 2000. С. 164.
136. Свергузова С.В. Экологическая экспертиза: Учеб. пособие, 3-е издание, исп. и доп. / С.В. Свергузова, Г.И. Тарасова, Л.А. Порожнюк, С.Е. Гусарова. – Белгород. 2011. 167 с.
137. Сиренко Л.А. Биологически активные вещества водорослей и качество воды / Л.А. Сиренко, Н.В. Козина. – Киев: Наука. Думка. 1988. 256 с.
138. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / под общ. Ред. Д-ра с.-х. наук, проф. П.В. Тихончука. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ. 2016. 570 с.
139. Система земледелия Амурской области / Под ред. В.А. Тильба. – Благовещенск: Приамурье. 2003. – 304 с.
140. Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус): Тр. Гос. океаногр. ин-та. – Л.: Гидрометеиздат. 1950. Вып. 17. 290 с.
141. Скопинцев Б.А. Использование знаний отношений различных показателей органического вещества природных вод для его качественной оценки / Б.А. Скопинцев, А.И. Гончарова // Современные проблемы региональной и прикладной геохимии. – Л.: ГИМИЗ. 1987. С. 95–117.
142. Славинская Г.В. Фульвокислоты природных вод / Г.В. Славинская, В.Ф. Селеменев. – Воронеж: Воронеж. ун-т. 2001. 165 с.

143. Смирнов М.П. Оценка общего и техногенного речного стока органического вещества с территории СНГ / М.П. Смирнов // Водные ресурсы. 2009. № 6. С. 683–693.
144. Соколов О.А. Нитраты в окружающей среде / О.А. Соколов, В.М. Семенов, В.А. Агаев. – Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1988. 316 с.
145. Соловьев Е.А. Удаление азота и фосфора в комплексе очистке сточных вод и обработке осадка / Е.А. Соловьев // Водоочистка. 2011. № 7. С. 41–42.
146. Сорокин Ю.И. Продукция бактерий и микрозоопланктон / Ю.И. Сорокин // Биологические ресурсы океана. – М.: Агропромиздат. 1985. С. 71–86.
147. Справочник водохранилищ Амурской области / А.В. Макаров и др. – Благовещенск: КПр АО. ГПП «Амургеология». 1998. – 79 с.
148. Степанько Н.Г. Экологические проблемы промышленного водопользования в регионах Российского Дальнего Востока / Н.Г. Степанько // «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата»: Материал V Дружининских чтений. – Хабаровск. ИВЭП ДВО РАН. 2014. С. 146–149.
149. Тарасова Н.П. Кислотно-основные равновесия и окислительно-восстановительные процессы в природных водоемах / Н.П. Тарасова, В.Я. Кузнецов. – М.: МХТИ. 1988. 53 с.
150. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. Изд. 2-е. – М.: Колос. 1979. 216 с.
151. Терентьев Т.А. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование / Т.А. Терентьев. – Владивосток. 1969. 273 с.
152. Ткачев Б.П. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Small rivers: state of the ecological problems: Аналит. обзор / Ткачев Б.П., Булатов В.И. – ГПНТРСОРАН. Сер. Экология. Вып. 64. Новосибирск. 2002. 114 с.
153. Тышкевич Г.Л. Экология и агрономия / Л.Г. Тышкевич. – Кишинев: Штиинца. 1991. 266 с.
154. Федоров С.Ф. Изменение водного режима водосборов под влиянием

лесоразведения / С.Ф. Федоров, И.Б. Вольфцун, А.А. Копотов // Гидрологические исследования ландшафтов. – Новосибирск: Наука. 1986. С. 89–97.

155. Фильчагов П.П. Возрождение малых рек / П.П. Фильчагов, В.В. Полищук // [Электронный ресурс]. – URL: <http://cpg1.narod.ru> – Киев: Урожай, 1989. Дата обращения 30.09.2018.

156. Фишер Н.К. Особенности биогеохимического цикла азота в воде и донных отложениях припойменных озер нижнего Амура / Н.К. Фишер, В.П. Шестеркин, О.Ю. Морозова, Н.Н. Шунькова // Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и вопросы их охраны: Сборник материалов Конференции с международным участием. 2015. С. 247–250.

157. Форина Ю.А. Фосфор в воде таежных рек северного Сихотэ-Алиня / Ю.А. Форина, В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 1. С. 116–119.

158. Черников В.А. Агроэкология. Модуль 15: Экологические основы качества воды и здоровье человека / В.А. Черников, О.А. Соколов, Р.Ф. Байбеков. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ, 2004. 151 с.

159. Черных Е.А. Малые реки: понятие, критерии выделения, классификация / Е.А. Черных // Использование, регулирование и охрана водных ресурсов малых рек. Сборник научных трудов. – Красноярск. 1987. С. 23–25.

160. Шамов В.В. Аномальная динамика железа в реках системы Амура в конце XX века: вероятные причины / В.В. Шамов, В.В. Кулаков, Т. Ониши // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2008. № 10. С. 72–78.

161. Шварцев С.Л. Гидрохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра. 1998. 366 с.

162. Шестеркин В.П. Использование ледяного покрова для индикации загрязнений природных вод аммонийным и нитратным азотом / В.П. Шестеркин // Биогеохимическая индикация природных и техногенных концентраций химических элементов в окружающей среде. – Владивосток: ДВО АН СССР. 1992. С. 152–164.

163. Шестеркин В.П. Влияние добычи и переработки рудного золота на качество речных вод Приамурья / В.П. Шестеркин // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем реки Амур. – Владивосток: Дальнаука. 1994. С. 98–105.
164. Шестеркин В.П. Влияние крупных лесных пожаров на гидрохимический режим таящих рек Приамурья / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // География и природные ресурсы. 2002. № 2. С. 47–52.
165. Шестаков Б.И. Амурская область: природопользование и экология: учебное пособие / Б.И. Шестаков, В.Д. Мельников, Ю.Г. Пискунов. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та. 2005. 47 с.
166. Шестеркин В.П. Влияние торфяных пожаров на химический состав снежного покрова и поверхностных вод / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина, Ю.А. Фокина // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 49–54.
167. Шестеркин В.П. динамика содержания минеральных форм азота в воде среднего Амура в зимнюю межень / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // VII Международная научно-практическая конференция / под редакцией О.И. Никитиной. – М.: Издательство: Всемирный фонд природы. 2012. С. 138–140.
168. Шестеркин В.П. Многолетняя динамика содержания и стока железа в воде Среднего Амура в зимнюю межень / В.П. Шестеркин, В.С. Таловская, Н.М. Шестеркина // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 6. С. 106–111.
169. Шестеркин В.П. Многолетняя изменчивость стока нитратного и нитритного азота в р. Амур у Хабаровска / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 412–418.
170. Шестеркин В.П. Многолетняя динамика минеральных форм азота в воде Зейского водохранилища / В.П. Шестеркин // Труды V Международной научно-практической конференции / Министерство образования и науки РФ, Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь. 2015. С. 178–182.
171. Шишкина Л.А. Гидрохимия / Л.А. Шишкина. – Л.: Гидрометеиздат. 1974. 287 с.

172. Шилькрот Г.С. Литоральный природный комплекс и его роль в евтрофировании водоемов / Г.С. Шилькрот // Антропогенное евтрофирование озер. – М.: Наука. 1976. С. 82–117.
173. Экологическая ситуация в Амурской области в 2005 году / Амурстат. – Благовещенск. 2006. 40 с.
174. Энциклопедический словарь географических терминов. – М.: Сов. энцикл. 1968. 435 с.
175. Хажаева З.И. Вынос биогенных веществ с речным стоком бассейна Селенги / З.И. Хажаева // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 4. С. 425–436.
176. Харина С.Г. Химико-микробиологическая оценка экологического состояния водоемов агроландшафтов Приамурья / С.Г. Харина, Т.П. Колесникова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 10 (60). С. 72–76.
177. Харина С.Г. Мониторинг экологического состояния водных объектов агроландшафта Зейско-Буреинской равнины / С.Г. Харина, Ж.А. Димиденко, Т.П. Колесникова, М.Ф. Царькова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2012. № 3. С. 69–73.
178. Хендерсон-Селлерс Б. Умирующие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селлерс, Х.Р. Марклэнд. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. 279 с.
179. Химическая энциклопедия / «Большая Российская энциклопедия». – М. 1995. Т.4. 641 с.
180. Христофорова Н.К. Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) / Н.К. Христофорова, Е.В. Журавель, Ю.А. Миронова // Биол. моря. 2002. Т.28. № 4. С. 300–303.
181. Христофорова Н.К. Экологическая характеристика вод пролива Босфор Восточный по кислородным показателям / Н.К. Христофорова, А.А. Емельянов, К.С. Бердасова, Ю.Е. Дегтева // Изд. ТИНРО. 2015. Т.181. № 15. С. 161–168.
182. Хупер Ф Происхождение и судьба органических соединений фосфора в водных системах / Ф. Хупер // Фосфор в окружающей среде. – М.: Мир. 1977. С.

204–231.

183. Царькова М.Ф. Экологическая оценка состояния водоемов агроландшафтов среднего Приамурья / М.Ф. Царькова // Дальневосточный аграрный вестник. 2008. № 1(5). С. 50–55.

184. Цыбань А.В. Индикаторная микрофлора в Балтийском море / А.В. Цыбань, Т.В. Панов, С.П. Барина // Исследование экосистемы Балтийского моря. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. Вып. 3. С. 69–83.

185. Alberic P. Interactions between trace elements and dissolved organic matter in the stagnant anoxic deep layer of a meromictic lake / P. Alberic, E. Viollier, D. Jezequel, C. Grosbois, G. Michard // Limnol. Oceanogr. 2000. Vol. 45. № 5. P. 1088–1096.

186. Aschan O. Soluble humus material of northern fresh waters / O. Aschan // J. Pract. Chem. 1908. № 77. P. 172–226.

187. Burgess S.A. Effects of stream habitat improvements on invertebrates, trout populations and minnow activity / S.A. Burgess. J. Wildl. Manage. – 1980. № 44. P. 87–880.

188. Blazka P. Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems / P. Blazka. – New York: SCOPE-UNER Regional Workshop. 1989. P. 232–243.

189. Bryant D.A. Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated / D.A. Bryant, N.U. Frigaard // Trends Microbiol. 2006. Vol. 14. № 11. P. 488–496.

190. Gore J.A., Johnson L.S. 1981. Strip-mined river restoration // Water Spectr. Vol. 13. P. 31–33.

191. Hauer F.R. Phosphorus and nitrogen dynamics in streams associated with wildfire: a study of immediate and long-term effects / F.R. Hauer, C.N. Spencer // Int. J. Wildl. Fire. 1998. Vol. 8. № 4. P. 183–198.

192. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers / M. Meybeck // American Journal of Science. 1982. № 282. P. 401–450.

193. Perdue E.M., Ritchie J.D. Dissolved organic matter in freshwaters // In J.L. Drever, H.D. Holland, K.K. Turekian (Eds.), Surface and ground water, Weathering

- and soils. *Treatise on Geochemistry*. Oxford: Elsevier – Pergamon, 2003. P. 273–318.
194. Hydra R.A., Rodman D.J., Tech D.J. Monitoring techniques for the organic quality of water // *J. Inst. Water Eng and Sci*. 1984. Vol. 38. № 11. P. 25–38.
 195. Kolkwitz R., Marsson M. Ökologie der tierischen Saprobien. Beiträge zur Lehre von der biologischen Gewässerbeurteilung. In: “*Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*”, Band 2. 1909. P. 126–152.
 196. Schnitzer M. Humic Substances: Chemistry and Reactions // *Soil Organic Matter* / Eds.: M. Schnitzer, S.U. Khan, Elsevier, New York. 1978. P. 1–64.
 197. Sladeczek V. System of water quality from biological point of view // *Ergebnisse der Limnologie*. Stuttgart. 1973. (Arch. Hydrobiol.; Bd. 7).
 198. Schoepfer Shane D. Total organic carbon, organic phosphorus, and biogenic barium fluxes as proxies for paleomarine productivity / D. Shane Schoepfer, J. Shen, H. Wei, R.V. Tyson, E. Ingall, T.J. Algeo // *Earth – Science Reviews*. Vol. 149. 2015. P. 23–52.
 199. Steinberg C.E.W. Ecology of humic substances in freshwaters. Berlin: Springer. 2003. 440 p.
 200. Thurman E.M. Organic geochemistry of natural waters / Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. The Netherlands. – 1985.
 201. Youchimizu M. Study of intestinal microflora of salmonids / M. Youchimizu, T. Kimura // *Fish. Pathol.*, 1976. Vol. 10. № 2. P. 243.
 202. White J.P. Nitrification / J.P. White, D.P. Schwert, J.P. Ondraro, L.L. Morgan // *Appl. Environ. Microbiol.* 1977. Vol. 33. P. 918–925.
 203. Canfield D.E. Biogeochemical cycles of carbon, sulfur, and free oxygen in a microbial mat / D.E. Canfield, D.J. Des Marais // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1993. Vol. 57. P. 3971 – 3984.
 204. Chemical methods for use in marine environmental monitoring / IOC, Manuals and guides. № 12. UNESCO. 1983. 53 p.
 205. Mac Gillivray A.R. Relative role of eukaryotic and prokaryotic microorganisms in phenanthrene transformation in coastal sediments / A.R. MacGillivray, M.P. Shiaris // *Appl. Environ. Microbiol.* 1994. Vol. 60. P. 1154–1159.

206. Mc Donald S., Bishop A.G., Prenzler P.D., Robards K. Analytical chemistry of freshwater humic substances // *Anal. Chim. Acta*. 2004. Vol. 527. P. 105–124.
207. Schoepfer Shane D. Total organic carbon, organic phosphorus, and biogenic barium fluxes as proxies for paleomarine productivity / D. Shane Schoepfer, J. Shen, H. Wei, R. V. Tyson, E. Ingall, T. J. Algeo // *Earth – Science Reviews*. Vol. 149. 2015. P. 23–52.
208. Wach B.A. Qualitative classification for the evaluation of the heavy metal contamination in river ecosystems // *Verh. Int. Ver. Limnol.* 1998. Vol. 26. P. 1289–1294.
209. Wang G.S., Liao C.Y., Wu F.J. Photodegradation of humic acids in the presence of hydrogen peroxide // *Chemosphere*. 2001. Vol. 42. № 4. P. 379–387.

Приложение

Приложение 1

Участок 1 – Исток реки, водохранилище, расположенное на расстоянии 1,7 км на юго-востоке от с. Романовка



Приложение 2

Участок 2 – Река Ивановка в пределах поселка Екатеринославка



Приложение 3

Участок 3 – Река Ивановка в районе с. Анновка, выше водохранилища



Приложение 4

Участок 4 – Водохранилище в районе с. Анновка



Участок 5 – Место стока воды из водохранилища в р. Ивановка



Участок 6 – Река Ивановка в районе с. Анновка
(ниже сброса воды из водохранилища)



Участок 7 – Устье р. Ивановка



Приложение 8

Активная реакция среды р. Ивановка (2011–2013 гг.) (n=5)

Место отбора проб	2011 г.			2012 г.			2013 г.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	7,8±0,22	8,3±0,42	8,7±0,44	7,8±0,23	7,4±0,38	8,1±0,59	7,2±0,21	7,1±0,31	7,3±0,47
Участок 2	7,9±0,30	7,3±0,21	8,4±0,39	8,0±0,37	7,5±0,18	7,6±0,48	7,0±0,33	7,3±0,27	7,0±0,57
Участок 3	8,3 ±0,33	8,9±0,66	8,0±0,23	7,2±0,41	7,4±0,59	7,8±0,27	7,1±0,66	6,5±0,60	7,1±0,37
Участок 4	9,8±0,39	10,4±0,32	10,4±0,42	7,6±0,77	9,1±0,49	9,0±0,45	9,2±0,71	8,7±0,64	9,7±0,41
Участок 5	10,8±0,68	10,8±0,41	10,4±0,27	7,8±0,73	9,5±0,72	8,9±0,47	8,3±0,87	9,4±0,49	9,8±0,43
Участок 6	8,3±0,41	8,4±0,30	8,0±0,23	7,4±0,55	8,2±0,33	7,6±0,24	6,9±0,31	7,5±0,48	7,2±0,26
Участок 7	8,6±0,35	8,6±0,27	8,5±0,44	7,5±0,41	7,8±0,36	7,5±0,36	7,3±0,46	7,9±0,28	7,3±0,38

Приложение 9

Содержание кислорода в водоемах с различной степенью загрязненности
(Гидрохимические..., 2010)

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород		
	лето, мг/дм ³	зима, мг/дм ³	% насыщения
Очень чистые (I)	9	14–13	95
Чистые (II)	8	12–11	80
Умеренно загрязненные (III)	7–6	10–9	70
Загрязненные (IV)	5–4	5–4	60
Грязные (V)	3–2	5–1	30
Очень грязные (VI)	0	0	0

Приложение 10

Степень загрязненности воды по величине БПК₅ (Методы..., 1990)

Значение БПК ₅ , мг О ₂ /л	Качество воды
0,5–1,0	очень чистые
1,1–1,9	чистые
2,0–2,9	умеренно загрязненные
3,0–3,9	загрязненные
4,0–10	грязные
Более 10	очень грязные

Приложение 11

Биохимическое потребление кислорода в воде р. Ивановка (мг O₂/л); (2011–2013 гг.) (n=5)

[illegible]

Приложение 12

Определение загрязненности по перманганатной окисляемости в р. Ивановка (мг O_2 /л); (2011–2013 гг.) (n=5)

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*								

Приложение 13

Градация загрязненности воды по величине перманганатной окисляемости
(Гидрохимические показатели..., 2010)

Значение ПО, мг O ₂ /дм ³	Степень загрязнения (классы водоемов)
0–2	очень малая
2–5	малая
5–10	средняя
10–15	слабо повышенная
15–20	повышенная
20–30	высокая
30–50	очень высокая
>50	исключительно высокая

Приложение 14

Предельное содержание аммонийного азота N-NH₄мг/л в разных по классу
пресных водах

Класс качества воды	Содержание аммонийного азота N-NH ₄ , мг/л
Предельно чистая	0,02
Очень чистая	0,02–0,05
Чистая	0,05–0,1
Удовлетворительной чистоты	0,1–0,4
Слабо загрязненная	0,4–0,8
Загрязненная	0,8–1,5
Грязная	1,5–3,0
Очень грязная	3,0–5,0
Предельно грязная	5

Приложение 15

Эколого-гигиенические нормативы содержания азотистых соединений в воде
(Красовский и др., 1982)

Форма азота	Нормативы, мг/л	
	гигиенический	экологический
N-NO ₃	10	0,3–0,5
N-NO ₂	1	–

Химическое потребление кислорода в воде р. Ивановка (мг О₂/л) в 2011–2013 гг. (n=5)

Место отбора проб	2012 г.			2013 г.		
	I	II	III	I	II	III
Участок 1	28,0±7,62	14,0±6,12	36,0±4,49	36,0±8,27	52,0±16,22	12,0±4,39
Участок 2	28,0±9,14	18,0±3,31	24,0±11,09	76,0±14,09	24,0±4,41	8,0±3,17
Участок 3	12,0±4,87	11,0±2,96	14,0±5,03	56,0±11,17	28,0±14,05	4,0±2,26
Участок 4	16,0±2,17	28,0±7,14	18,0±7,22	96,0±14,96	44,0±20,06	8,0±3,03
Участок 5	12,0±3,10	32,0±10,08	20,0±4,26	40,0±9,08	56,0±13,88	8,0±2,51
Участок 6	24,0±5,65	18,0±4,47	16,0±1,29	56,0±15,12	36,0±7,66	12,0±4,20
Участок 7	14,0±4,12	12,0±2,15	12,0±5,16	60,0±21,53	20,0±5,44	16,0±4,45
ПДК для водоемов -культурно- бытового назначения	30,0					

Содержание в воде р. Ивановка ионов аммония (мг/л) в 2011–2013 гг. (n=5)

[illegible]

Приложение 18

Содержание в воде р. Ивановка нитратов NO_3^- (мг/л) в 2011–2013 гг. (n=5)

Место отбора проб	2011 г.			2012 г.			2013 г.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Участок 1	0,71±0,22	0,59±0,17	0,03±0,01	0,03±0,01	1,30±0,10	0,10±0,02	0,30±0,07	0,20±0,05	1,90±0,29
Участок 2	0,58±0,15	0,16±0,08	0,07±0,01	0,30±0,11	1,30±0,14	0,30±0,11	0,30±0,09	0,90±0,23	2,10±0,07
Участок 3	0,74±0,19	0,56±0,15	0,08±0,02	0,40±0,11	1,80±0,13	0,30±0,13	0,70±0,11	0,80±0,19	0,20±0,07
Участок 4	0,78±0,20	0,57±0,13	0,14±0,02	0,40±0,08	1,20±0,30	0,50±0,04	0,10±0,02	1,10±0,20	5,90±0,12
Участок 5	0,72±0,14	1,14±0,24	0,08±0,02	0,10±0,02	1,00±0,16	0,10±0,02	0,30±0,16	1,90±0,10	0,40±0,08
Участок 6	0,76±0,14	0,18±0,07	0,08±0,02	0,80±0,20	0,30±0,16	0,10±0,02	0,40±0,19	1,10±0,22	1,20±0,20
Участок 7	0,66±0,20	0,50±0,14	0,20±0,05	1,40±0,19	0,20±0,07	0,40±0,07	0,60±0,21	1,30±0,17	1,40±0,17
ПДК 0,5 мг/л									

Предельное содержание нитратного азота N-NO_3 мг/л в разных по классу
качества пресных вод

Класс качества воды	Содержание аммонийного азота N-NO_3 , мг/л
Предельно чистая	0,05
Очень чистая	0,05–0,1
Чистая	0,1–0,2
Удовлетворительной чистоты	0,2–0,3
Слабо загрязненная	0,3–0,5
Загрязненная	0,5–1,0
Грязная	1,0–4,0
Очень грязная	4,0–8,0
Предельно грязная	8

Приложение 20

Содержание фосфора минерального в природной воде р. Ивановка (мг/л) в 2012–2013 гг. (n=5)

Место отбора проб	2012 г.			2013 г.		
	I	II	III	I	II	III
Участок 1	0,64±0,18	0,06±0,02	0,19±0,03	0,37±0,11	0,08±0,02	0,71±0,14
Участок 2	0,43±0,14	0,08±0,02	0,04±0,01	0,63±0,10	0,10±0,02	0,90±0,09
Участок 3	0,47±0,14	0,20±0,04	0,09±0,02	0,24±0,06	0,33±0,14	0,94±0,11
Участок 4	0,77±0,23	0,41±0,07	0,11±0,04	0,68±0,25	0,86±0,15	0,90±0,11
Участок 5	0,63±0,19	0,20±0,09	0,17±0,05	0,36±0,11	0,44±0,10	1,10±0,07
Участок 6	0,58±0,16	0,22±0,09	0,08±0,02	0,46±0,09	0,23±0,07	0,66±0,24
Участок 7	0,39±0,15	0,01±0,01	0,11±0,02	0,33±0,09	0,21±0,05	0,94±0,21

Приложение 21

Содержание в воде р. Ивановка ионов Fe^{3+} (мг/л) в 2011–2013 гг. (n=5)

[illegible]

Классификация водоемов по ГОСТ 17.1.2.04-77

Показатель	Чистые воды		Загрязненные воды		Грязные воды	
	Ксено- сапробность (кс)	Олиго- сапробность (о)	β -мезо- сапробность (бм)	α -мезо- сапробность (ам)	Поли- сапробность (п)	Гипер- сапробность (гп)
Фосфаты, мг/л	До 0,005	0,006-0,03	0,04-0,1	0,11-0,3	0,31-0,6	Более 0,6