



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Бакалаврская работа)

На тему: «Экологическое состояние реки Ангара»

Исполнитель: Седышова Дарья Алексеевна

Руководитель: кандидат педагогических наук,
Эстрин Эрнест Романович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Королькова С.В., к.т.н.

(подпись)

«26» июня 2019 г.

Санкт-Петербург
2019



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Экологическое состояние реки Ангара

Исполнитель	Седышова Дарья Алексеевна
	(фамилия, имя, отчество)
Руководитель	Кандидат педагогических наук
	(ученая степень, ученое звание)
	Эстрин Эрнест Романович
	(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю» Заведующий кафедрой	
	(подпись)
	(ученая степень, ученое звание)
	(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2019г.

Санкт–Петербург
2019

Оглавление

Введение.....	4
1 Физико-географическая характеристика реки Ангара.....	6
1.1 Климат.....	8
1.2 Почвы и растительность.....	8
1.3 Режим уровня воды.....	9
2 Гидрохимическая характеристика реки Ангара.....	10
2.1 Водородный показатель.....	11
2.2 Общая минерализация.....	12
2.3 Растворённые газы.....	13
2.4 Окисляемость.....	14
2.5 Биохимическое потребление кислорода.....	16
2.6 Биогенные вещества.....	18
2.6.1 Аммиак и аммоний-ион.....	18
2.6.2 Нитриты.....	19
2.6.3 Нитраты.....	20
2.6.4 Фосфор.....	22
2.7 Содержание тяжёлых металлов.....	23
2.8 Техногенные загрязняющие вещества.....	26
2.8.1 Нефтепродукты.....	26
2.8.2 СПАВ.....	27
2.8.3 Фенолы.....	29
3 Расчёт удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в реке Ангара.....	31
3.1 Методика расчёта УКИЗВ.....	31
3.2 Ход выполнения расчёта УКИЗВ.....	32

4 Результат проведённого исследования.....	37
Выводы.....	39
Заключение.....	40
Список использованных источников.....	41
Приложение А.....	42

Введение

Загрязнение окружающей среды является одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время. Загрязнению подлежат не только атмосфера, но и водные объекты. С развитием промышленности водные объекты стали загрязняться довольно быстро, вследствие чего возрастает антропогенная нагрузка на водотоки.

В данной работе изучается экологическое состояние реки Ангара на участке от города Усть-Илимск до села Богучаны. Выбранный участок обусловлен ростом антропогенной нагрузки и увеличением хозяйственной деятельности за последние годы, а также активным использованием водного объекта человеком.

Актуальность: оценка экологического состояния водного объекта, подвергающегося значительному антропогенному воздействию, и использование водотока для хозяйственных нужд, влияющих на состояние здоровья населения.

Предмет исследования: влияние природно-антропогенных условий на гидрохимический режим и на экологическое состояние реки, протекающей в урбанистическом ландшафте, имеет научный и практический интерес.

Объект исследования: река Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны.

Цель работы: обозначить современное экологическое состояние реки Ангара на основе гидрохимических показателей.

Задачи работы:

- 1) Составить физико-географическое описание реки Ангара с учётом антропогенного воздействия.
- 2) Составить гидрохимическую характеристику реки Ангара на основе гидрохимических показателей за 2019 год.

3) Провести комплексную оценку реки Ангара с помощью удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ).

Научная новизна:

- Проведено обобщение информации из литературных источников по реке Ангара, ввиду её малой исследованности.
- Произведён комплексный анализ состояния реки на участке г.Усть - Илимск – с.Богучаны за 2019 год по физическим и химическим показателям.

Практическая значимость:

- Материалы и результаты данной работы могут быть использованы для проведения дальнейшего мониторинга состояния качества воды в реке Ангара.
- Выводы работы и предложения по улучшению природоохранной деятельности могут быть использованы при улучшении эффективности водоохранных мероприятий.

1 Физико-географическая характеристика реки Ангара

Ангара - река бассейна Карского моря, правый и самый крупный приток Енисея. Протекает в Восточной Сибири по территории Иркутской области и Красноярского края.

Исток реки Ангара находится между посёлками Байкальск и Листвянка Иркутской области. Ангара вытекает из Байкала по широкому, более 1 километра, руслу-ущелью. Устье находится у посёлка Усть-Ангарск Красноярского края, где река впадает в Енисей.

Длина реки Ангара составляет 1779 километров, площадь водосборного бассейна — 1.039.000 кв.км. Общее падение реки Ангара составляет 380 метров, уклон — 0,2 м/км. В истоке Ангара неглубокая, преобладают глубины около 2 метров, местами возрастая до 4 -6 метров. Далее глубина меняется и может достигать 20 м.

Ангара течёт в северном направлении от истока. Между Байкалом и Иркутском на реке создано Иркутское водохранилище. В среднем течении на северо-западе Иркутской области после строительства Братской ГЭС образовано Братское водохранилище. Ниже Братска начинается верхний участок Усть-Илимского водохранилища. На участке Богучанского водохранилища Ангара поворачивает на запад в сторону Енисея и Красноярского края.

Питает Ангару озеро Байкал. Регулятором расхода воды является Иркутское водохранилище. Ниже по течению Ангара питается за счёт вод притоков, роль которых увеличивается к устью. В зимнее время питание Ангара происходит главным образом за счёт вод Байкала, так как грунтовое питание притоков незначительное. В летнее время, когда количество воды в притоках резко увеличивается за счёт осадков и таяния снега, роль притоков в питании возрастает.

Озеро Байкал расположено на границе Иркутской области и республики Бурятия. Байкал протянулся с северо-востока на юго-запад в виде полумесяца. Озеро имеет тектоническое происхождение и находится в рифтовом углублении, схожем по структуре с бассейном Мёртвого моря. Со всех сторон Байкал окружают горные хребты и сопки. Восточное побережье имеет плоский хребет, западное побережье более обрывистое и скалистое. Расположен Байкал на высоте 455 м над уровнем моря. Длина озера 636 км, наибольшая ширина в центральной части 81 км, минимальная ширина напротив дельты Селенги - 27 км. Длина береговой линии около 1850 км. Более половины береговой линии озера включено в территорию заказников, заповедников и национальных парков. Максимальная глубина озера 1642 м, средняя глубина – 744,4 м. Площадь озера составляет 31.722 кв.м. Объём воды в Байкале достигает около 23 тысяч кубических километров, что составляет 20 % мировых и 90% российских запасов пресной воды. В Байкал впадает 336 постоянных рек и ручьев, при этом половину объёма воды, поступающей в озеро, приносит Селенга. Из Байкала вытекает единственная река - Ангара. Основные свойства байкальской воды: в ней очень мало растворённых и взвешенных минеральных веществ, ничтожно мало органических примесей, вода очень насыщена кислородом. Содержание минеральных солей в воде Байкала равно 96,7 мг/л. В значительной степени чистота воды в Байкале поддерживается деятельностью микроскопического рачка [эпишуры](#), который потребляет органику, пропуская воду через свой организм. Байкальская эпишура (лат. *Epischura baicalensis*) — вид планктонных ракообразных из подкласса веслоногих (*Copepoda*). Размер взрослого полупрозрачного рачка составляет около 1,5 мм. Этот эндемик Байкала играет важнейшую роль в экосистеме озера, населяя всю толщу вод и формируя до 90 % и более биомассы водоёма. Именно рачку-эпишуре обязано озеро чистотой своей воды[1]. Вода в озере настолько прозрачна, что отдельные камни и различные предметы бывают видны на глубине до 40 метров. Это обычно

бывает весной, когда вода в озере синего цвета. Летом же и осенью, когда в прогретой солнцем воде развивается масса растительных и животных организмов, прозрачность её снижается до 8-10 м, и цвет становится сине-зелёным и зелёным.

1.1 Климат

Климат Иркутской области резко-континентальный. Иркутская область достаточно удалена от морей и находится в центре Азиатского материка, здесь большая амплитуда температур воздуха, большое количество часов солнечного сияния, продолжительная зима, короткое лето. Влияют на климат области озеро Байкал и ангарские водохранилища. В прилегающих к ним районах зима заметно мягче, а лето прохладнее. Громадная масса воды и площадь этих водоёмов сглаживают резкие среднегодовые и среднесуточные перепады. Разность зимних и летних, дневных и ночных температур увеличивается с продвижением на север области. Среднегодовая температура воздуха почти на всей территории Иркутской области отрицательная [2]. Зима здесь ясная, безветренная и морозная с высоким атмосферным давлением. Средние температуры января колеблются от -18 °С на юге до -35 °С на севере области. Лето достаточно короткое, но может быть очень жарким: средние температуры июля колеблются в пределах от +17 °С до +32 °С. Распределение осадков неравномерно как по сезонам года, так и по районам области: на равнинной территории выпадает 300-400 мм осадков в среднем за год, в горах - свыше 600 мм.

1.2 Почвы и растительность

В районе бассейна реки преобладают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые железистые почвы. В верховьях серые лесные, горные дерново-

и перегнойно-карбонатные почвы. В среднем течении горные дерново-таёжные и горные подзолистые почвы. Широко распространены почвы многолетних мерзлотных пород[3]. Дно реки галечное, местами крупнокаменистое.

Растительность в бассейне Ангары характерная для тайги: в основном это сибирско-сосновые и сибирско-лиственные леса. В верхнем течении ниже Иркутска это южно-сибирско-монгольские степи. В среднем и нижнем течении темнохвойные горные леса из ели сибирской и пихты сибирской.

1.3 Режим уровня воды

Река Ангара вытекает из озера Байкал, уровень воды в котором может подниматься из-за снегопадов, половодья на реках (главным образом, из-за половодья на реке Селенга) и обильных дождей. Также уровень воды на Ангаре регулируют плотины - Иркутская, Братская, Усть-Илимская и Богучанская, но наибольшее влияние оказывает плотина Иркутской ГЭС. Для истока Ангары характерен осенний шугоход - движение всплывающего на поверхность внутриводного льда (шуги), мощные зажоры (скопление шуги, донного льда и других видов внутриводного льда в русле реки в период осеннего шугохода и в начале ледостава, мешающее движению воды по руслу и приводящее к подъёму уровня воды[4]). Максимальные уровни воды ежегодно наблюдаются в нижнем течении в середине мая, минимальные - в период с августа по октябрь. Изменение уровней воды составляет в среднем 3,5-5,4 м.

2 Гидрохимическая характеристика реки Ангара

Для оценки современного экологического состояния реки Ангара по химическим показателям были взяты данные за период 2016 - 2019 г.г., любезно предоставленные Федеральным государственным бюджетным учреждением (ФГБУ) «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

2.1 Водородный показатель

Таблица 2.1 – Классификация воды по уровню pH

Степень загрязнения	Уровень pH
Сильнокислые	< 3
Кислые	3 - 5
Слабокислые	5 – 6,5
Нейтральные	6,5 – 7,5
Слабощелочные	7,5 – 8,5
Щелочные	8,5 – 9,5
Сильнощелочные	> 9,5

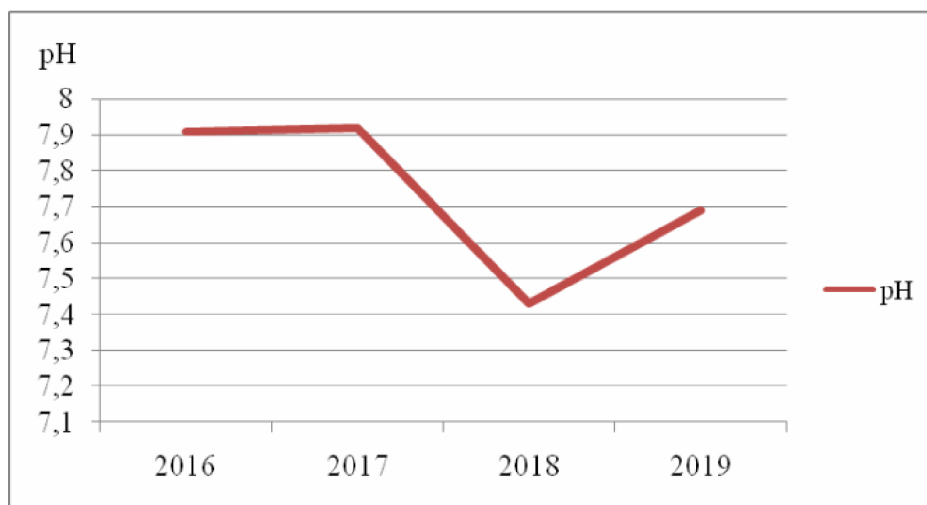


Рисунок 2.1 – Водородный показатель рН р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

Водородный показатель (рН) – один из важнейших показателей качества вод. Величина концентрации ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. От величины рН зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон [5].

На рисунке 2.1 значение рН не превышает рыбохозяйственные требования. В течении трёх лет исследования видно, что максимальное значение водородного показателя было в 2017 г. и составило 7,92; минимальное в 2018 г. – 7,43. Содержание небольшого количества двуоксида углерода для поверхностных вод приводит к щелочной реакции. Изменения величины рН тесно связаны с процессами фотосинтеза (из-за потребления CO_2 водной растительностью) и распада органических веществ. Гумусовые кислоты также могут являться источником ионов водорода, так как такие кислоты присутствуют в кислых почвах, болотных водах и перегное.

2.2 Общая минерализация

Общая минерализация – количественный показатель растворённых в 1 литре воды неорганических солей и органических веществ – кроме газов. Также этот показатель называют общим солесодержанием. Его характеристикой является сухой остаток, получаемый в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивании задержанного остатка до постоянной массы.

Способы определения минерализации воды:

- 1) По сумме главных ионов Σ , мг/л;
- 2) По массе сухого остатка (после выпаривания пробы).

По рыбохозяйственному нормативу концентрация SO_4^{2-} не должна превышать 100 мг/л, Cl^- - 300 мг/л. Для водоёмов культурно-бытового назначения сухой остаток нормируется, ПДК в этом случае не должна превышать 1000 мг/л.

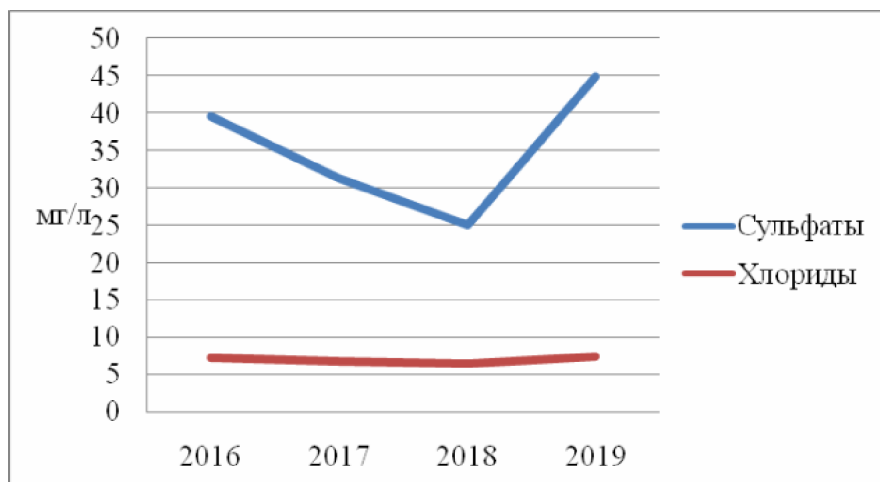


Рисунок 2.2.1 – Показатели солевого состава, р.Ангара на участке г.Усть - Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

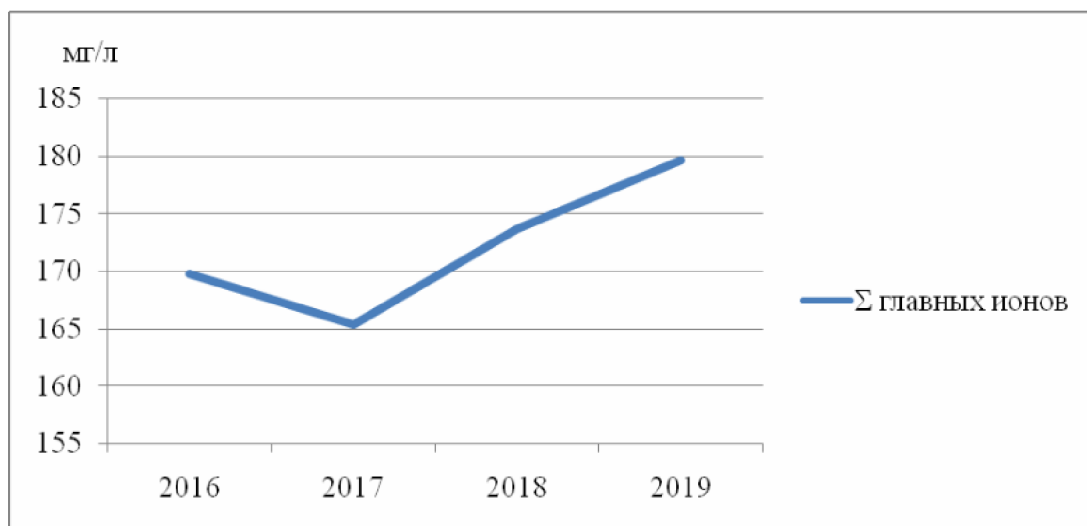


Рисунок 2.2.2 – Сухой остаток, р.Ангара на участке г.Усть -Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

На рисунках 2.2.1 и 2.2.2 можно увидеть, что ПДК в обоих случаях не превышено.

Сульфаты поступают в водоёмы в процессе отмирания организмов и окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения с подземным стоком.

Ангара подвержена значительному промышленному водопользованию. Сточными водами сульфаты выносятся с промышленных предприятий (предприятие по переработке нефтепродуктов – «Илимтэк»), жилых микрорайонов и садоводств.

2.3 Растворённые газы

Содержание растворённого кислорода является одной из важных характеристик экологического состояния водного объекта. Основным и путями поступления кислорода в водные объекты являются: абсорбция из атмосферы по закону Генри-Дальтона, фотосинтез водорослей и фитопланктона, снеговые и дождевые воды. В воде водных объектов в любой

период года до 12 часов дня концентрация растворённого кислорода должна быть не менее 4 мг/л. ПДК растворённого кислорода в воде для рыбохозяйственных водоёмов установлена 6 мг/л.

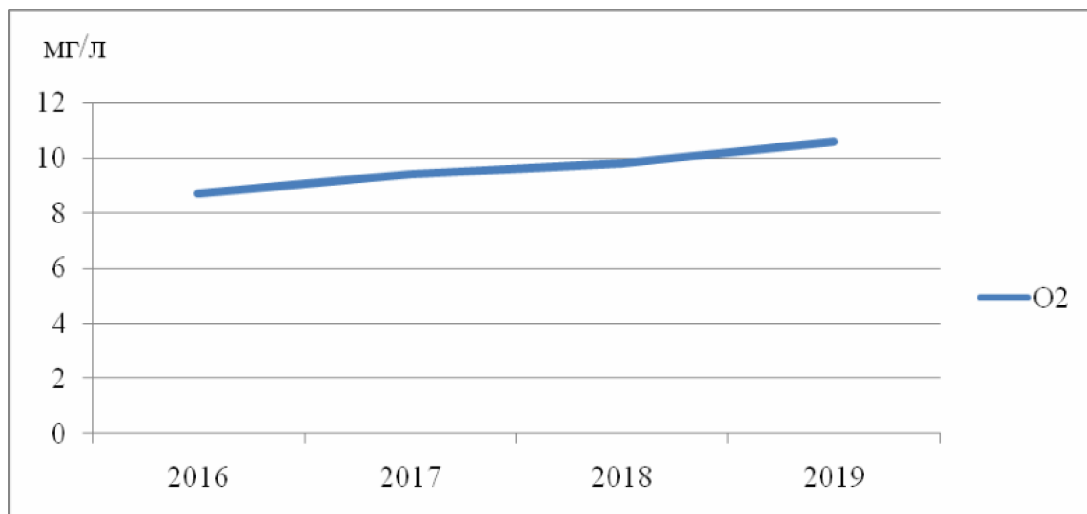


Рисунок 2.3 –Содержание растворённого кислорода, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

На рисунке 2.3 можно увидеть, что максимальное содержание растворённого кислорода было в 2019 году – 10,6 мг/л, минимальное в 2016 году – 8,7 мг/л.

2.4 Окисляемость

Окисляемость поверхностных вод обычно подвержена значительным и довольно закономерным сезонным колебаниям. Их характер определяется, с одной стороны, гидрологическим режимом, с другой, гидробиологическим режимом, т.е. изменением во времени процессов продуцирования, превращения и минерализации органических веществ. Величина отношения перманганатной окисляемости к бихроматной позволяет судить о природе органического вещества воды.

- Перманганатная окисляемость – это окисление с применением $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$.
- Бихроматная окисляемость (ХПК – химическое потребление кислорода, мг $\text{O}_2/\text{л}$).

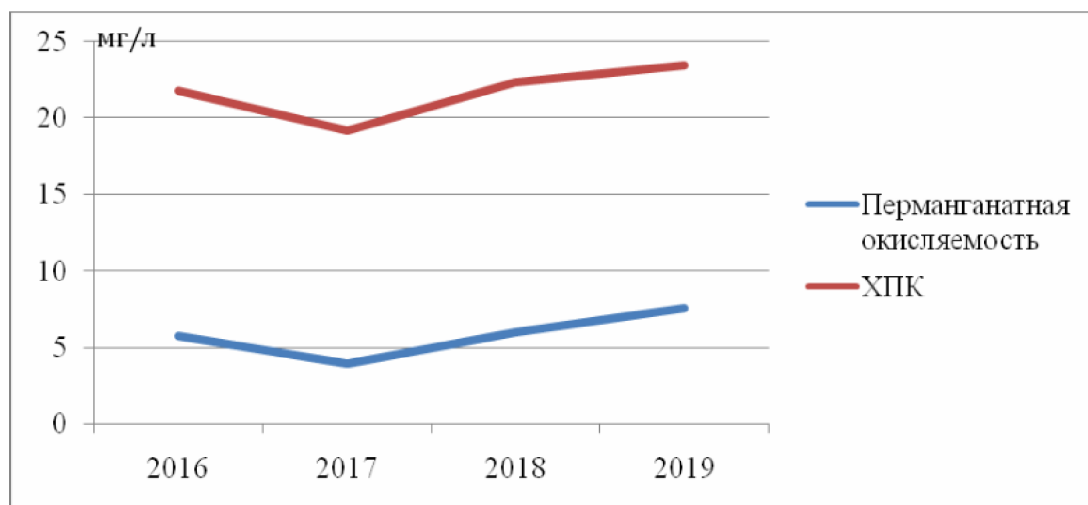


Рисунок 2.4 – Окисляемость, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

На рисунке 2.4 можно увидеть, что на протяжении всех лет показатель бихроматной окисляемости превышает по ПДК. Согласно СанПин перманганатная окисляемость должна быть в пределах 5,0 – 7,0 мг/л. Превышение по показателям может говорить о том, что данный водный объект подвержен изменению окисляемости вследствие поступления в реку сточных вод промышленных производств, жилых микрорайонов, садоводств.

2.5 Биохимическое потребление кислорода

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – это наблюдающаяся убыль растворённого кислорода в анаэробных условиях за определённый промежуток времени, чаще всего БПК определяют за 5, либо за 10 суток инкубации.

Показатель БПК₅ определяет какое количество кислорода потребуется для окисления органического вещества аэробными бактериями в течении 5 суток. Изменения величины БПК₅ значительны в зависимости от степени загрязнённости водоёма.

Таблица 2.5 – Классификация воды по показателю БПК

Степень загрязнения	БПК ₅ , мг О ₂ /л
Очень чистые	0,5 – 1,0
Чистые	> 1,0 – 2,0
Умеренно загрязнённые	> 2,0 – 3,0
Загрязнённые	> 3,0 – 4,0
Грязные	> 4,0 – 10,0
Очень грязные	> 10,0

Определение БПК в поверхностных водах используют для:

- оценки содержания биохимически подвижных органических веществ;
- условий обитания гидробионтов;
- характеристики качества воды.

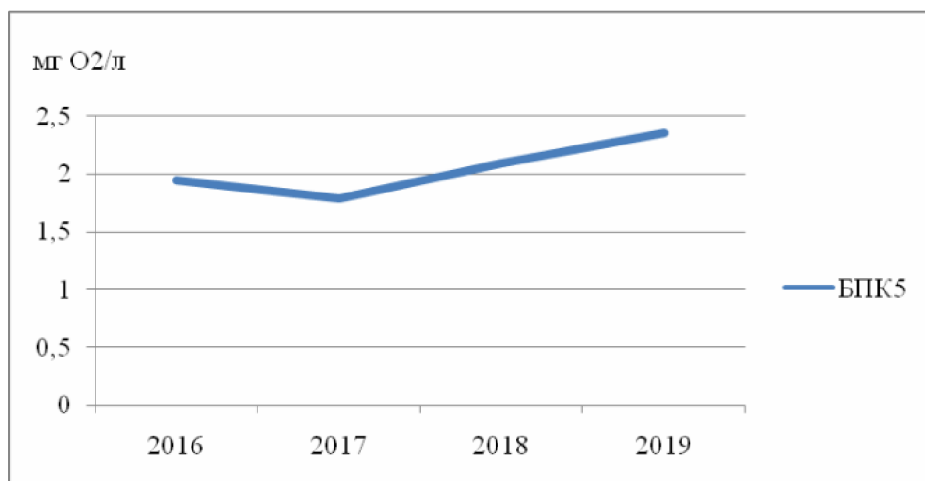


Рисунок 2.5 – Показатель уровня загрязнённости органическими соединениями, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

Для БПК₅ПДК составляет 2,1мг О₂/л. На рисунке 2.5 можно увидеть, что в 2019 году БПК₅немного превышен. Исходя из таблицы 2.5 Ангара в 2019 году по показателю БПК₅можно отнести к умеренно загрязнённым водоёмам. Природными источниками органических веществ являются разрушающиеся останки организмов растительного и животного происхождения, как живших в воде, так и попавших в водоём с по воздуху, с листвы и берегов и т.п. Кроме природных источников, существуют также техногенные: предприятия по переработке нефтепродуктов - нефтепродукты, транспорт - нефтепродукты, целлюлозно-бумажные комбинаты – лигнины, бытовые стоки – прямой источник органических соединений. Органические загрязнения могут попадать в водоём различными путями, но зачастую они также попадают с дождевыми поверхностными смывами с почвы.

2.6 Биогенные вещества

Биогенные вещества (БВ) – это наиболее активно участвующие в жизнедеятельности водных организмов химические вещества. К БВ относятся:

- 1) Соединения азота – нитриты NO_2^- , нитраты NO_3^- , неорганические аммонийные соединения NH_4^+ и органические соединения азота R-NH_2 , R-NO_2 , R-O-NO_2 .
- 2) Соединения фосфора – фосфаты PO_4^{3-} , полифосфаты $\text{Me}_n(\text{PO}_3)_n$, $\text{Me}_{n+2}\text{PnO}_{3n+1}$, $\text{Me}_n\text{H}_2\text{PnO}_{3n+1}$, органические эфиры фосфорной кислоты и др.
- 3) Соединения серы – сульфаты SO_4^{2-} , сульфиды S^{2-} , гидросульфиты HSO_3^- . Но сульфаты уже были рассмотрены, как компонент минерального состава воды, а гидросульфиты и сульфиды присутствуют в природных водах в очень малых концентрациях, к тому же их можно легко обнаружить по запаху воды.

2.6.1 Аммиак и аммоний-ион

В природных условиях NH_3 очень мало, он быстро рассеивается в атмосфере до 0. Исключение составляют промышленные площадки.



NH_4^+ - катион аммония, его соединения в больших количествах входят в состав минеральных и органических удобрений, неправильное применение которых приводит к загрязнению водоёмов. Также аммонийные соединения в значительных количествах присутствуют в нечистотах (фекалиях), которые проникают в грунтовые воды или смываются поверхностными стоками с грунта в водоёмы. Стоки с пастбищ и мест скопления скота, сточные воды от животноводческих комплексов, а также бытовые и хозяйственные стоки всегда содержат большое количество аммонийных соединений. Опасное загрязнение грунтовых вод хозяйственно-фекальными и бытовыми сточными

водами происходит при разгерметизации системы канализации. По этим причинам повышенное содержание аммонийного азота в поверхностных водах обычно является признаком хозяйственно-фекальных загрязнений.

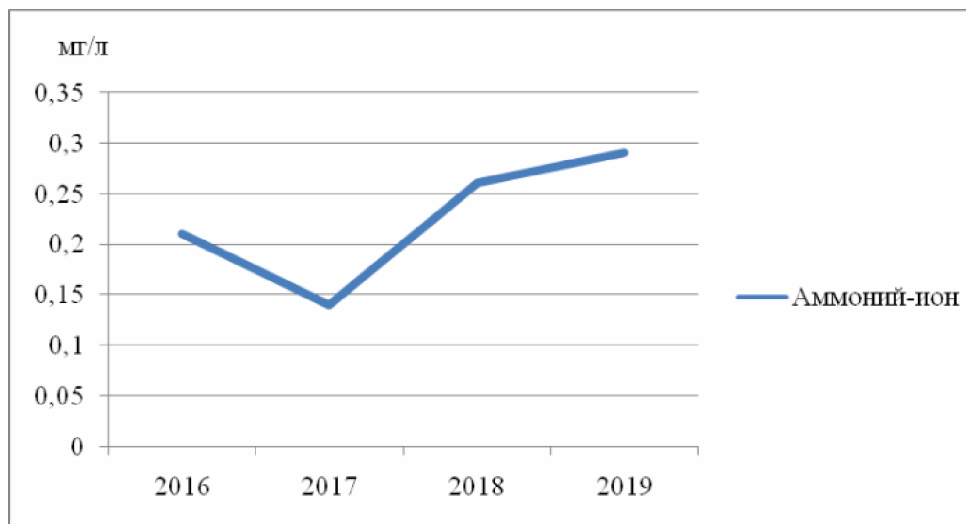


Рисунок 2.6.1 – Содержание ион-аммония, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для ион-аммония в воде водоёмов составляет 2,6 мг/л или 2,0 мг/л по аммонийного азоту. На рисунке 2.6.1 можно увидеть, что показатель ион-аммония находится в норме и не превышает ПДК.

2.6.2 Нитриты

Нитриты являются абсолютно неустойчивыми компонентами природных вод и поэтому при благоприятных для их окисления условиях, они встречаются в незначительных количествах – сотые или даже тысячные доли м/л. Присутствие нитритных ионов в незагрязнённых поверхностных водах связано с процессами минерализации органических веществ и реакции нитрификации. Также аммонийные ионы под действием особого вида бактерий – *Nitrosomonas* – окисляются до нитритов.

Наличие повышенного содержания нитритов в воде свидетельствует о её загрязнении. Нитриты часто используются в пищевой промышленности, особенно на производстве полуфабрикатов из мяса, как фиксаторы окраски и консерванты. Также зачастую нитриты используют в промышленных производствах как ингибиторы коррозии. Нитрит-ионы способны превращаться в нитрат-ионы и именно поэтому зачастую они отсутствуют в поверхностных водах.

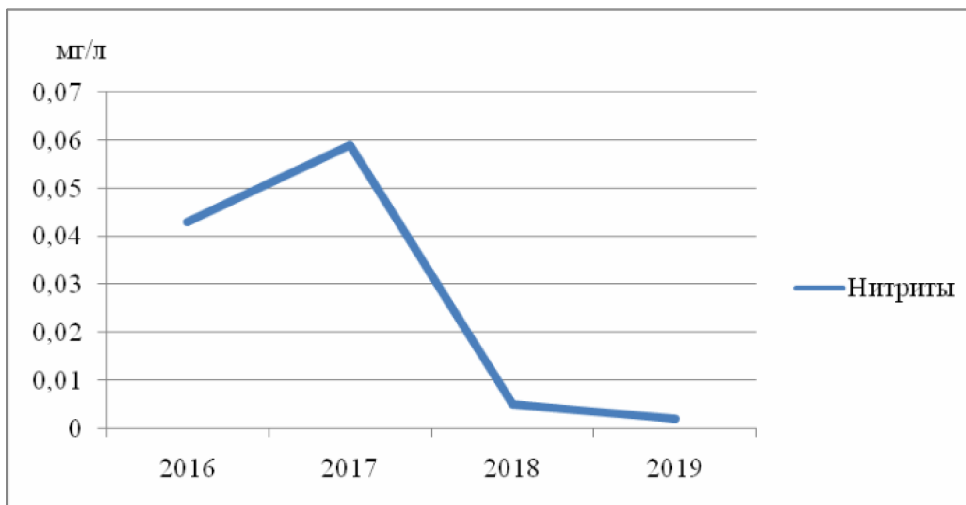


Рисунок 2.6.2 – Содержание нитритов, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для нитритов составляет 0,02 мг/л. На рисунке 2.6.2 можно увидеть, что содержание нитритов в 2016 и 2017 годах превышает ПДК.

2.6.3 Нитраты

Присутствие нитрат-ионов в поверхностных водах связано с процессами нитрификации – окисление аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий. Такие бактерии превращают нитриты в нитраты в аэробных условиях. Под влиянием солнечного излучения атмосферный азот (N_2) превращается также преимущественно в нитраты посредством образования оксидов азота.

Источниками нитратов в воде являются:

- минеральные удобрения, которые при избыточном или нерациональном внесении в почву приводят к загрязнению водоёмов;
- поверхностные стоки с пастбищ, молочных ферм и т.п.

Повышенное содержание нитратов в воде может служить индикатором загрязнения водоёма в результате распространения фекальных либо химических загрязнений (промышленные и сельскохозяйственные стоки). Богатые нитратами сточные каналы ухудшают качество воды в водоёме, стимулируя развитие водной растительности (в первую очередь – сине-зелёных водорослей) и ускоряя процесс эвтрофикации.

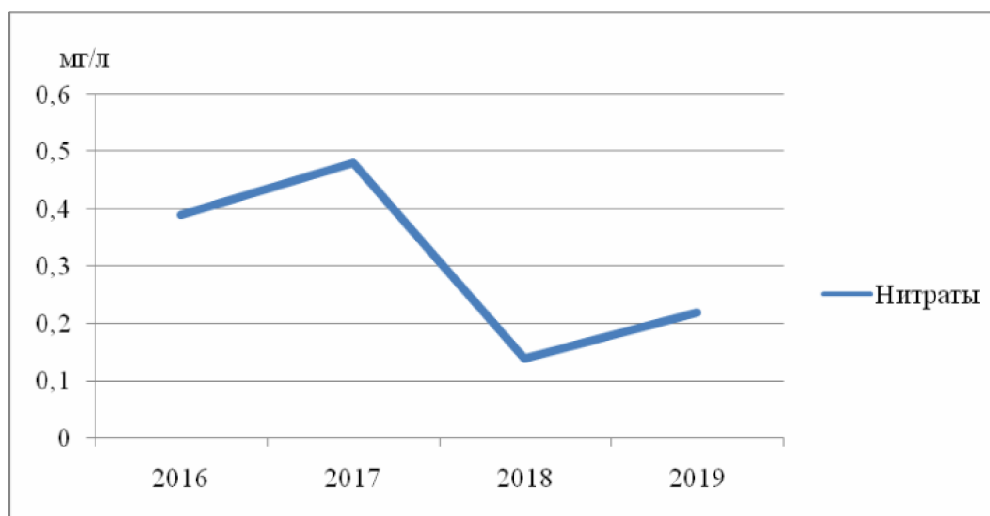


Рисунок 2.6.3 – Содержание нитратов, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для нитратов составляет 9 мг/л. На рисунке 2.6.3 можно увидеть, что содержание нитратов находится в норме и не превышает ПДК.

2.6.4 Фосфор

При анализе вод обычно учитывают общий (окислённый) фосфор. Общий фосфор является суммарным содержанием всего присутствующего фосфора в воде в виде растворённых минералов и в составе органических соединений. На его концентрацию, как и на азот, влияет ионный обмен, который происходит между его минерально-органическими формами и организмами, населяющими данный водный объект.

Главным источником фосфора в воде водных объектов являются минеральные удобрения, которые поверхностными стоками смываются прямо в водоём (с одного орошаемого гектара грунта смывается около 0,5 килограммов фосфора). Также зачастую фосфор попадает избыточными количествами с неочищенными бытовыми стоками (моющие средства). Органический фосфор появляется в воде водного объекта естественным путём в результате разложения организмов, которые населяют водоём, и их жизнедеятельности. Обменные процессы, происходящие с отложениями на дне водоёма, тоже являются источником органических соединений фосфора.

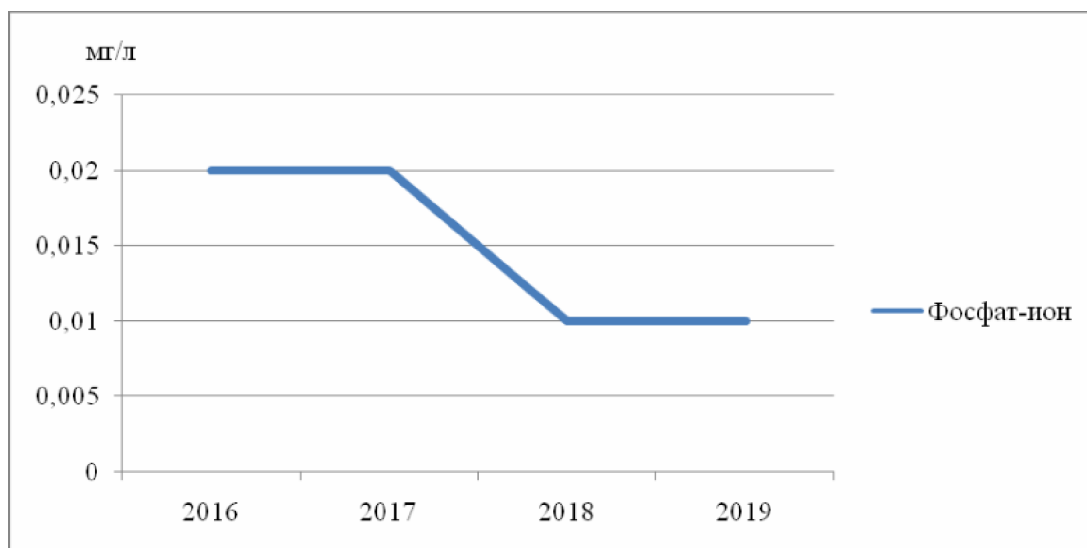


Рисунок 2.6.4 – Содержание фосфат-иона, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для фосфат-иона составляет 0,2 мг/л (лимитирующий показатель вредности – органолептический). На рисунке 2.6.4 можно увидеть, что содержание фосфат-ионов находится в норме и не превышает ПДК. Избыточные концентрации фосфат-ионов приводят к механизму неконтролируемого разрастания растительной биомассы, вследствие чего повышается концентрация бактерий и солей, начинают преобладать гнилостные процессы - вода начинает мутнеть. Также избыточное содержание фосфат-ионов способствует появлению нехарактерных для данного водоёма флоры и фауны.

2.7 Содержание тяжёлых металлов

Говоря о повышенной концентрации металлов в воде, как правило, подразумевают загрязнение тяжёлыми металлами такими, как кобальт, свинец, цинк, хром, никель, ртуть, кадмий и др. Тяжёлые металлы, попадая в воду, могут существовать в виде растворимых токсичных солей и комплексных соединений (иногда очень устойчивых), осадков (оксидов, гидроксидов, свободных металлов и др.). Главными источниками загрязнения воды тяжёлыми металлами являются предприятия чёрной и цветной металлургии, машиностроительные заводы, гальванические производства и др. Тяжёлые металлы в водоёме вызывают целый ряд негативных последствий: попадая в пищевые цепи и нарушая элементный состав биологических тканей, они оказывают тем самым прямое или косвенное токсическое воздействие на водные организмы. Тяжёлые металлы по пищевым цепям попадают в организм человека. Тяжёлые металлы по характеру биологического воздействия можно подразделить на токсиканты и микроэлементы. Типичными токсикантами являются кадмий, свинец, ртуть; микроэлементами – марганец, медь, кобальт.

Действие на человека:

- Отравление соединениями меди могут приводить к расстройствам нервной системы, нарушению функций печени, почек и др.
- Отрицательное воздействие соединений цинка может выражаться в ослаблении организма, повышенной заболеваемости, астмоподобных явлениях и др.
- Соединения кадмия действуют на многие системы организма – органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, центральную и периферическую нервные системы.
- Ртуть относится к ультрамикроэлементам и постоянно присутствует в организме, поступая с пищей. Неорганические соединения ртути в первую очередь катионы Hg реагируют с SH-группами белков («тиоловые яды»), а также с карбоксильными и аминными группами тканевых белков, образуя прочные комплексные соединения – металлопротеиды. В результате возникают глубокие нарушения функций центральной нервной системы. Из органических соединений ртути наибольшее значение играет метилртуть, которая хорошо растворима в липидных тканях и быстро проникает в жизненно важные органы. В результате возникают изменения в вегетативной нервной системе, периферических нервных образованиях, в сердце, сосудах, печени и др., нарушения в иммунобиологическом состоянии организма. Соединения ртути обладают также эмбриотоксическим действием – приводят к поражению плода у беременных.
- Соединения свинца – яды, действующие на всё живое, но вызывающие изменения особенно в нервной системе, крови и сосудах. Подавляют многие ферментативные процессы. Дети более восприимчивы к воздействию соединений свинца, чем взрослые. Обладают эмбриотоксическим и тератогенным действием, приводят к энцефалопатии и поражениям печени, угнетают иммунитет. Органические соединения свинца

– тетраметилсвинец и тетраэтилсвинец – сильные нервные яды, летучие жидкости.

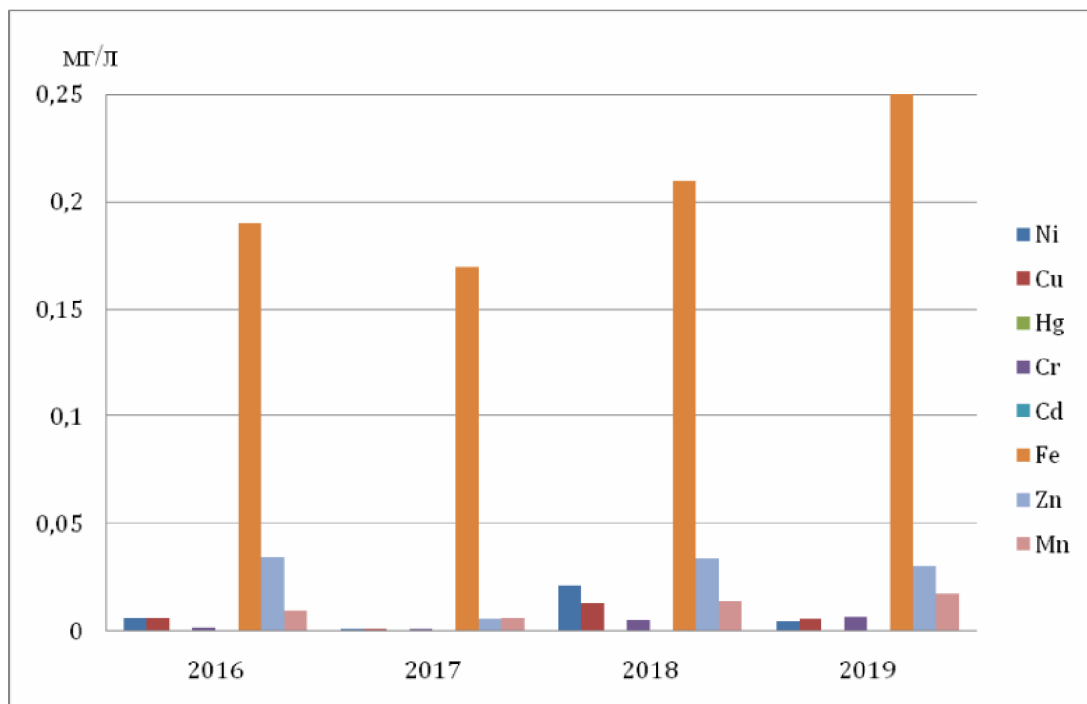


Рисунок 2.7 – Содержание тяжёлых металлов, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

На рисунке 2.7 можно увидеть, что по концентрации тяжёлых металлов больше всего содержится железа и цинка, железа значительно больше, но всё же не превышает ПДК – 0,3 мг/л (лимитирующий показатель вредности – органолептический). Основными источниками поступления железа в поверхностные воды являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением, а также со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

2.8 Техногенные загрязняющие вещества

Техногенные загрязняющие вещества – это антропогенные загрязнители, созданные человеком.

2.8.1 Нефтепродукты

Нефтепродукты (н/п) относятся к наиболее распространённым и опасным веществам, загрязняющих поверхностные воды. Нефть и продукты её переработки представляют собой сложную, непостоянную и разнообразную смесь веществ: алифатические, ароматические, алициклические углеводороды (УВ) и др.

- Алифатические УВ – $C_{2n}H_{2n+2}$. Пример: C_3H_8 - пропан, C_4H_{10} - бутан, C_6H_{14} - гексан и др.
- Ароматические УВ - C_nH_{2n-6} . Пример: C_6H_6 – бензол, $C_6H_5CH_3$ – толуол и др.
- Алициклические УВ - C_nH_{2n} . Пример: C_6H_{12} – циклогексан.

Большие количества н/п поступают в воду при перевозке нефти водным путём, со сточными водами промышленных предприятий. Некоторые количества УВ поступают в воду в результате прижизненных и посмертных выделений растительными и животными организмами.

Формы миграции в водной среде:

- растворённые;
- эмульгированные;
- сорбированные (на взвесах);
- плёночные (основная часть в момент поступления в водный объект).

Источники н/п в водных объектах:

- сточные воды предприятий;
- потери при транспортировке;
- распад фитопланктона;
- поверхностный сток с урбанизированных территорий.

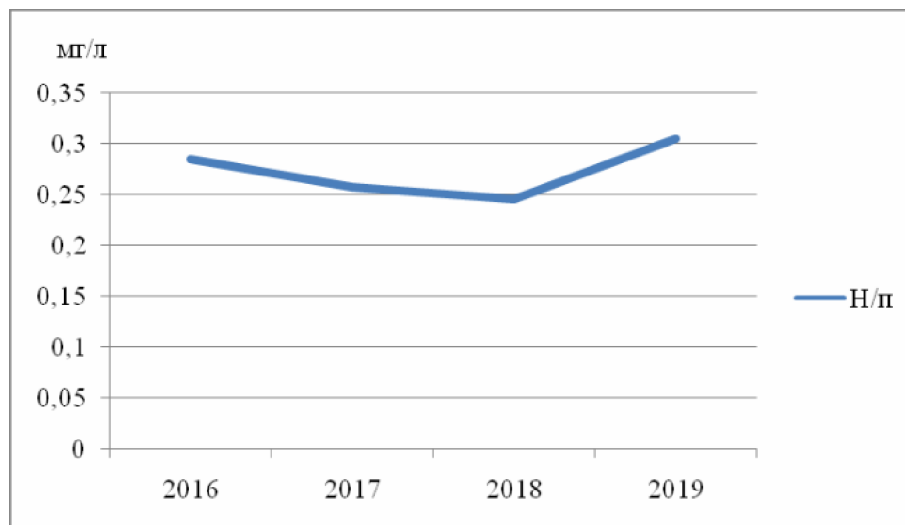


Рисунок 2.8.1 – Содержание нефтепродуктов, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для н/прыбхозяйственныя составляет 0,05 мг/л, санитарно - гигиенические – 0,3 мг/л. На рисунке 2.8.1 можно увидеть, что нормы ПДК прыбхозяйственныя превышены значительно, а санитарно - гигиенические превышены только в 2019 году незначительно – 0,305 мг/л. Негативное воздействие н/п на водную среду: специфический запах и вкус, ухудшение аэрации, токсическое воздействие на гидробионты.

2.8.2 СПАВ

Детергенты – синтетические поверхностно-активные вещества – попадают в воду с промышленными и бытовыми сточными водами. Медленно подвергаются бактериальному разложению, обладают токсическими свойствами. Их присутствие ухудшает кислородный режим и органолептические качества водоёма.

Формы миграции:

- растворённые;
- сорбированные;
- поверхностная плёнка.

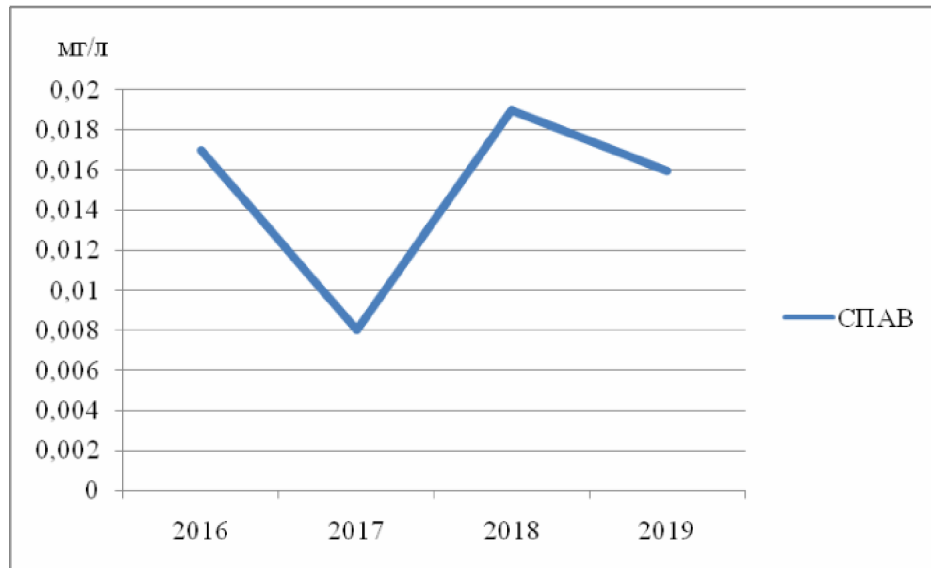


Рисунок 2.8.2 – Содержание СПАВ, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

ПДК для СПАВ в поверхностных водах водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 0,1 мг/л. На рисунке 2.8.2 можно увидеть, что содержание СПАВ находится в норме и не превышает норму ПДК.

Негативное воздействие СПАВ:

- Нарушают слизистую оболочку рыб, что способствует развитию патогенных организмов.
- Снижают процессы минерализации органического вещества.
- При содержании выше ПДК появляется горький привкус воды и мыльный запах.
- Уменьшают поверхностное натяжение воды, ухудшают кислородный режим, на 15 % препятствуют растворению в воде кислорода из воздуха.
- Повышенное содержание СПАВ является причиной образования устойчивой пены.

2.8.3 Фенолы

Фенольным соединением называется вещество, имеющее в своей молекуле ароматическое ядро, содержащую одну, две или более гидроксильных групп. Фенолы по своей токсичности относятся к числу наиболее опасных химических загрязнителей водоёмов. Малые концентрации фенолов в природных водах создают значительные трудности при химическом анализе. Прямое определение микро количеств фенолов невозможно, поэтому используются различные приёмы концентрирования, наиболее удобным из которых является экстракция.

По числу групп –ОН фенолы делятся на:

- Одноатомные: C_6H_5OH – оксибензол (карболовая кислота).

Реагирует как слабая кислота:



- Двухатомные - диоксибензолы: ортопирокатехин, пара-гидрохинон, м-резорцин.
- Многоатомные: 1,2,3 – триоксибензол, оксигидрохинон.

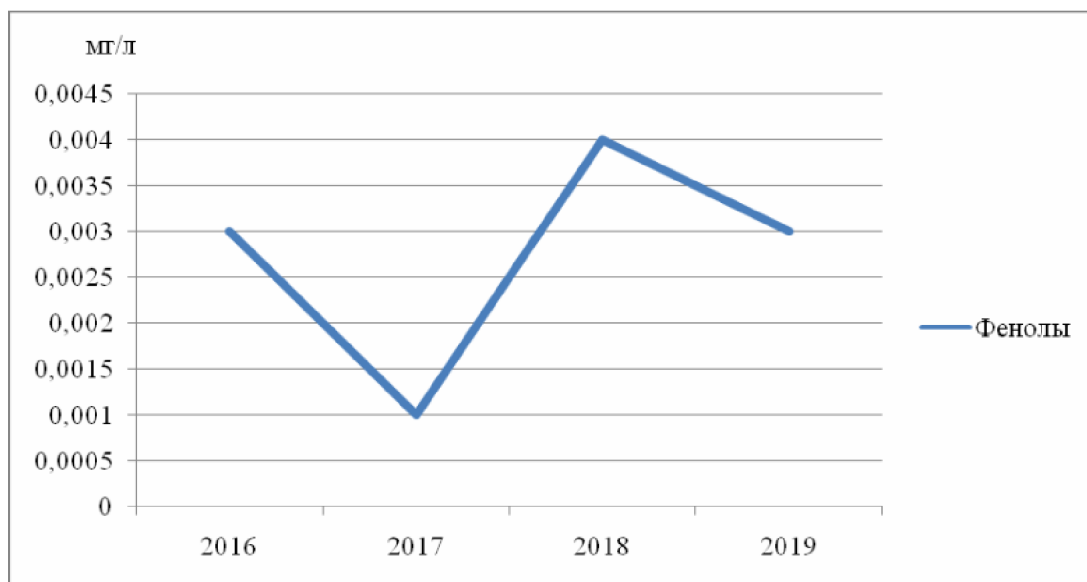


Рисунок 2.8.3 – Содержание фенолов, р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

Фенолы ухудшают общее санитарное состояние водных объектов, изменяют запах и вкус воды, влияют на концентрацию растворённых газов в воде (кислород и углекислый газ), а также на режим биогенных элементов. В больших концентрациях – токсичны для гидробионтов и рыб. ПДК для фенолов составляет 0,001 мг/л по органолептическому признаку вредности. На рисунке 2.8.3 можно увидеть, что в 2016, 2017 и 2018 годах содержание фенолов превышает норму ПДК. Фенолы попадают в по верхностные воды со стоками промышленных вод предприятий нефтепереработки, а также со стоками лесотехнической, целлюлозно-бумажной и лакокрасочной промышленности.

3 Расчёт удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в реке Ангара

3.1 Методика расчёта УКИЗВ

В последнее десятилетие в системе Росгидромета и других службах широкое практическое применение получил удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ). Данный индекс представляет собой комплексный относительный показатель степени загрязнённости поверхностных вод. Он условно оценивает долю загрязняющего эффекта, вносимую в среднем одним из показателей качества воды, в общую загрязнённость воды, обусловленную одновременно присутствием ряда загрязняющих веществ. Данный метод комплексной оценки позволяет однозначно оценить загрязнённость воды одновременно по широкому перечню ингредиентов и показателей качества воды, классифицировать воду по степени загрязнённости.

В расчете УКИЗВ используют только нормируемые ингредиенты и показатели состава и свойств воды водного объекта. В качестве норматива используют ПДК вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов, а также водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Вещество	БПК ₅	N _{NO3}	N _{NO2}	фенолы	н/п	СПАВ	медь	железо	марганец	кадмий
ПДК, мг/дм ³	2,1*	9*	0,02*	0,001*	0,05*	0,1*	1,0*	0,3*	0,01*	0,005*

Таблица 3.1 – Значения ПДК

* Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно

допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

* ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

* РД 52.24.368-2006 Массовая концентрация анионных синтетических поверхностно-активных веществ в водах. Методика выполнения измерений экстракционно-фотометрическим методом.

3.2 Ход выполнения расчёта УКИЗВ

1. Производится предварительная оценка степени загрязнённости воды водных объектов с помощью коэффициента комплексности загрязнённости воды (К)- относительного косвенного показателя степени загрязненности поверхностных вод. Коэффициент комплексности загрязненности воды К рассчитывается по результатам химического анализа каждой пробы воды по формуле:

$$K = (N' / N) * 100 \%,$$

где N' – количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды, содержание или значение которых превышает соответствующие им ПДК ; N – общее количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды.

Показатель выражается в процентах и изменяется от 1 до 100 % при ухудшении качества воды.

Анализ загрязненности воды с помощью К показал, что для оценки степени загрязненности воды в данном водном объекте целесообразно использовать комплексный метод (так как $K > 10$), учитывающий одновременно всю совокупность загрязняющих воду веществ.

2. На основании данных о количестве произведенных измерений по каждому компоненту (n_i) и компонентов, превышающих ПДК (n'_i) определяется повторяемость случаев превышения ПДК ($\alpha_i, \%$).

3. По значениям повторяемости случаев превышения ПДК на основании таблицы «Классификация водных объектов по повторяемости случаев загрязнённости» определяют частный оценочный балл ($S_{\alpha i}$), учитывающий при расчете характеристику загрязнённости воды (единичную, неустойчивую и характерную).

4. Рассчитывается сумма кратности превышения ПДК в тех результатах анализа, где оно имеет место ($\Sigma \beta_i$).

5. Определяется среднее значение кратности превышения ПДК только по тем пробам, где есть нарушение нормативов (β'_i).

6. По значениям средней кратности превышения ПДК на основании таблицы «Классификация воды водных объектов по кратности превышения ПДК» определяют частный оценочный балл ($S_{\beta i}$), учитывающий при расчете характеристику уровня загрязнённости воды (низкую, среднюю, высокую, экстремально высокую).

7. Определяется обобщённые оценочные баллы по каждому ингредиенту (S_i) путем перемножения двух частных оценочных баллов ($S_{\alpha i}$ и $S_{\beta i}$).

	БПК ₅	N _{NO3}	N _{NO2}	фенолы	н/п	СПАВ	Cu	Fe	Mn	Cd	N	N'	K, %
2016	1,95	0,39	0,043	0,003	0,285	0,017	0,0059	0,19	0,0094	0,00027	10	3	30
2017	1,79	0,48	0,059	0,001	0,258	0,008	0,0013	0,17	0,0061	0,0002	10	2	20
2018	2,09	0,14	0,005	0,004	0,246	0,019	0,0129	0,21	0,0142	0,00054	10	3	30
2019	2,35	0,22	0,002	0,003	0,305	0,016	0,0058	0,25	0,0176	0,00047	10	5	50

Таблица 3.2.1 – Гидрохимическая информация по загрязнённости реки
Ангара

Таблица 3.2.2Расчёт комбинаторного индекса загрязненности воды реки Ангарана участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны,
2016 - 2019 г.г.

Ингредиенты и /показатели загрязненности	n_i	n'_i	$\alpha_i = n'_i / n_i \cdot$ 100%	$S\alpha_i$	$\Sigma \beta_i = \Sigma C_i / \text{ПДК}_i$	$\beta'_i = \Sigma \beta_i / n'_i$	S_{β_i}	$S_i = S_{\alpha_i} \cdot S_{\beta_i}$
БПК ₅	4	1	25	2,8	3,9	1	1	2,8
N _{NO3-}	4	-	-	-	-	-	-	-
N _{NO2-}	4	2	50	4	5,45	2,7	2,08	8,32
Фенолы	4	3	75	4	3,01	1,03	1,03	4,12
н/п	4	4	100	4	12,3	3,08	2,1	8,4
СПАВ	4	1	25	2,8	6	6	2,5	7
Медь	4	-	-	-	-	-	-	-
Железо	4	-	-	-	-	-	-	-
Марганец	4	2	50	4	4,73	2,37	2,04	8,16
Кадмий	4	-	-	-	-	-	-	-

8. Рассчитывается значение комбинаторного индекса загрязнённости воды (S_A) как сумма обобщённых оценочных баллов ($\sum S_i$):

$$S_A=38,8$$

9. На основании полученных данных вычисляется удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды УКИЗВ (S'_A) путём деления суммарного обобщённого оценочного балла на количество исследуемых компонентов:

$$S'_A=3,88$$

10. С учётом значения обобщённых оценочных баллов и условию $S_i \geq 9$ находят число критического показателя загрязнённости F (КПЗ).

$$F=0$$

11. Вычисляется коэффициент запаса k по формуле:

$$k = 1 - 0,1 * F$$

$$k=1$$

12. По значению УКИЗВ (3,88) и числу КПЗ (0) согласно таблице «Определения класса качества воды по показателю УКИЗВ» определяют класс загрязнённости воды и её характеристика загрязнённости.

Класс	Характеристика состояния загрязнённости воды	Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды					
		без учёта числа КПЗ	в зависимости от числа учитываемых КПЗ				
			1 ($k=0,9$)	2 ($k=0,8$)	3 ($k=0,7$)	4 ($k=0,6$)	5 ($k=0,5$)
1-й	условно чистая	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2-й	слабозагрязнённая	(1; 2]	(0,9; 1,8]	(0,8; 1,6]	(0,7; 1,4]	(0,6; 1,2]	(0,5; 1,0]
3-й	загрязнённая	(2; 4]	(1,8; 3,6]	(1,6; 3,2]	(1,4; 2,8]	(1,2; 2,4]	(1,0; 2,0]
разряд “а”	загрязнённая	(2; 3]	(1,8; 2,7]	(1,6; 2,4]	(1,4; 2,1]	(1,2; 1,8]	(1,0; 1,5]
разряд “б”	очень загрязнённая	(3; 4]	(2,7; 3,6]	(2,4; 3,2]	(2,1; 2,8]	(1,8; 2,4]	(1,5; 2,0]
4-й	грязная	(4; 11]	(3,6; 9,9]	(3,2; 8,8]	(2,8; 7,7]	(2,4; 6,6]	(2,0; 5,5]
разряд “а”	грязная	(4; 6]	(3,6; 5,4]	(3,2; 4,8]	(2,8; 4,2]	(2,4; 3,6]	(2,0; 3,0]
разряд “б”	грязная	(6; 8]	(5,4; 7,2]	(4,8; 6,4]	(4,2; 5,6]	(3,6; 4,8]	(3,0; 4,0]
разряд “в”	очень грязная	(8; 10]	(7,2; 9,0]	(6,4; 8,0]	(5,6; 7,0]	(4,8; 6,0]	(4,0; 5,0]
разряд “г”	очень грязная	(8; 11]	(9,0; 9,9]	(8,0; 8,8]	(7,0; 7,7]	(6,0; 6,6]	(5,0; 5,5]
5-й	экстремально грязная	(11; ∞]	(9,9; ∞]	(8,8; ∞]	(7,7; ∞]	(6,6; ∞]	(5,5; ∞]

Таблица 3.2.3 - Определения класса качества воды по показателю УКИЗВ

Исходя из полученных значений, класс качества воды был определён как 3й разряд «б», а характеристика состояния загрязнённости воды – как очень загрязнённая.

В ходе выполнения расчёта был определён удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ) в водном объекте, а также класс её качества. Так как обобщённый оценочный балл по всем показателям оказался меньше 9, то класс качества воды был определён без учёта КПЗ и коэффициента запаса. Исходя из полученного значения УКИЗВ ($S'_A=3,88$), класс качества воды был определён как 3-й разряд «б», а характеристика состояния загрязнённости воды очень загрязнённая.

4 Результат проведённого исследования

Проанализировав данные, которые были предоставлены Федеральным государственным бюджетным учреждением (ФГБУ) «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», можно сделать вывод о том, что:

- Водоток подвержен сильному влиянию сельскохозяйственной деятельности человека на изменение окисляемости, вследствие поступления в реку сточных вод коллективных садоводств, жилых микрорайонов.
- Загрязнение грунтовых вод хозяйственно-фекальными и бытовыми сточными водами происходит при разгерметизации системы канализации.
- Повышенное содержание нитритов в поверхностных водах является результатом плохо очищенных сточных вод пищевой промышленности.
- Повышенное содержание нитратов в воде может служить индикатором загрязнения водоёма в результате распространения фекальных либо химических загрязнений (промышленных). Богатые нитратными водами сточные каналы ухудшают качество воды в водоёме, стимулируя массовое развитие водной растительности и такого процесса как эвтрофикация.
- Органические загрязнения попадают в водоём разными путями, главным образом со сточными водами и дождевыми поверхностными смывами с почвы.
- Тяжёлые металлы (железо). Основными источниками поступления железа в природные воды являются сточные воды предприятий химической металлургической промышленности. Также железо может появляться в результате коррозии трубопроводов и других сооружений, используемых в системах водоснабжения.

- Нефтепродукты зачастую попадают из-за неправильной транспортировки нефти, а также с неочищенными стоками нефтеперерабатывающих предприятий. Нефтепродукты нарушают процесс аэрации и являются очень токсичными веществами для гидробионтов.

- СПАВ поступают в реку с хозяйственными и бытовыми стоками. Разрушают слизистую оболочку рыб, что может спровоцировать увеличение в воде патогенных организмов. Также СПАВ нарушают процесс минерализации органических веществ. Могут являться источником постоянной пены в водоёме.

- Фенолы являются токсичными для гидробионтов и рыб, а также влияют на режим биогенных элементов.

Выводы

- 1) По данным гидрохимических исследований за 2016-2019 г.г. участок город Усть-Илимск – село Богучаны реки Ангара действительно является загрязнённым и подвержен сильному антропогенному влиянию.
- 2) Можно констатировать ухудшение в 2019 году экологического состояния реки Ангара по следующим показателям: БПК₅, фенолы, нефтепродукты, СПАВ, содержание марганца.
- 3) Комплексная оценка с помощью удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ) показала, что воды реки Ангара характеризуются как очень загрязнённые.
- 4) Для наиболее точной оценки экологического состояния реки Ангара следует провести мониторинг по всей длине реки от истока – озеро Байкал, до устья- река Енисей. А также следует учесть эпидемические показатели, данных по которым не оказалось.

Заключение

Поставленные в данной работе задачи были выполнены. Освоены навыки анализа гидрохимических проб.

Антропогенная нагрузка на участке город Усть-Илимск – село Богучаны растёт с каждым годом. Концентрация БПК₅, нефтепродуктов, фенолов и некоторых тяжёлых металлов (железо, марганец) выросла в 2019 году по сравнению с предыдущими годами.

Для того, чтобы защитить чистоту реки Ангара необходимо: бытовые и промышленные стоки не сбрасывать в естественный водоём, а очищать и употреблять многократно, очищать городские канализационные стоки, употреблять минеральные удобрения так, чтобы их излишки не попадали в водоёмы.

С целью борьбы с ухудшающимся экологическим состоянием реки Ангара необходимо предпринять следующие меры: очистка берегов реки от бытовых отходов, ужесточение норм ПДК, более тщательная очистка сточных промышленных и бытовых вод, а также привлечение внимания волонтёрских групп и активистов.

Список использованных источников:

1. Афанасьева Э. Л. Биология байкальской эпишуры. — Новосибирск, 1977.
2. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Экономика Иркутской области: В 4 т. - Иркутск: БГУПЭ, 1998. Т. 1. - 203 с.
3. Мазуренко Г.В.: Ангара и Лена в Прибайкалье. Издательство: ГИМИЗ, 1959. - 96 с.
4. Пармузин Ю.П.: Словарь по физической географии. М: Просвещение, 1994. - 367с.
5. Руководство по методам анализа морских вод / Ред. С. Г. Орадовский. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 206 с.
6. Водные объекты Санкт-Петербурга/ Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. -СПб.:Символ, 2002.- 348 с.
7. Братское и Усть-Илимское водохранилища (физическая карта, масштаб 1:1 000 000) // Национальный атлас России. — М.: Роскартография, 2004. — Т. 1. — С. 246. — 496 с.
8. Экологические проблемы ангары и ее водохранилищ. URL: <http://gigabaza.ru/doc/91585.html> (дата обращения 23.05.2019)
9. Река Ангара (бассейн реки Енисей). URL: <http://megaribolov.ru/index.php/entsiklopediya-rybolova/opisanie-vodoemov/opisanie-rek/1575-angara>(дата обращения 28.05.2019)
10. Ангара. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%ED%E3%E0%F0%E0> (дата обращения 10.05.2019)

Приложение А – Усреднённые гидрохимические показатели состояния
р.Ангара на участке г.Усть-Илимск – с.Богучаны, 2016 - 2019 г.г.

Показатели	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
pH	7,91	7,92	7,43	7,69
O ₂ (раст.газ)	8,7	9,4	9,8	10,6
Ca ⁺²	22,2	22,1	21,1	22,2
Mg ⁺²	5,5	5,7	5,9	5,2
Na ⁺	8,7	8,0	9,4	9,3
K ⁺	1,1	1,1	1,0	1,2
SO ₄ ⁻²	39,6	31,4	25,1	44,9
Cl ⁻	7,2	6,8	6,5	7,4
NH ₄ ⁺	0,21	0,14	0,26	0,29
NO ₂ ⁻	0,043	0,059	0,005	0,002
NO ₃ ⁻	0,39	0,48	0,14	0,22
P-PO ₄ ⁻³	0,02	0,02	0,01	0,01
БПК ₅	1,95	1,79	2,09	2,35
ХПК	21,79	19,21	22,36	23,43
Перман. ок-тъ	5,75	3,94	5,94	7,54
Н/П	0,285	0,258	0,246	0,305
Фенолы	0,003	0,001	0,004	0,003
СПАВ	0,017	0,008	0,019	0,016
Fe _{общ.}	0,19	0,17	0,21	0,25
Ni	0,0064	0,0013	0,0215	0,0047
Cu	0,0059	0,0013	0,0129	0,0058
Zn	0,0343	0,0054	0,0337	0,0305
Cd	0,00027	0,0002	0,00054	0,00047
Mn	0,0094	0,0061	0,0142	0,0176
Cr	0,0018	0,001	0,0033	0,0067
Hg	0,00023	0,00011	0,00039	0,00002