

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**В.А. Брызгало, А.М. Никаноров,
Л.С. Косменко, О.С. Решетняк**

**УСТЬЕВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ
КРУПНЫХ РЕК РОССИИ:
АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ**

Монография

Ростов-на-Дону
Издательство Южного федерального университета
2015

УДК 504.064
ББК 26.8
Б89



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 15-05-07022, не подлежит продаже*

Рецензент

канд. геогр. наук В.М. Иваник

Брызгалo, В.А.

Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние : монография / Брызгалo В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С. ; Южный федеральный университет. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 164 с. – Рис.: 45. Табл.: 48. Библиогр.: 87.

ISBN 978-5-9275-1598-1

Монография – обобщающая работа по вопросам оценки антропогенной нагрузки и экологического состояния устьевых экосистем крупных рек России. Исследование выполнено на основе анализа многолетней режимной гидрологической, гидрохимической и гидробиологической информации Государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН) Росгидромета.

На примере крупных рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока в многолетнем аспекте (1980–2012 гг.) рассмотрены изменчивость компонентного состава водной среды и региональные особенности функционирования устьевых экосистем в условиях современного антропогенного воздействия. Получены данные о пространственной и временной изменчивости притока растворенных химических веществ, об уровне антропогенной нагрузки на устьевые области за счет речного стока, экологическом состоянии устьевых экосистем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Эти данные позволяют оценить вынос компонентов химического состава речных вод, включая загрязняющие вещества, и получить достоверную информацию об их влиянии на прибрежные акватории морских экосистем.

Представленное издание может быть использовано специалистами при подготовке рекомендаций по экономически эффективному и экологически безопасному природопользованию. Книга рассчитана на гидрохимиков, гидрологов, экологов, специалистов в области охраны окружающей среды и мониторинга водных объектов. Она может быть полезна также студентам старших курсов гидрологических и экологических специальностей вузов.

УДК 504.064
ББК 26.8

ISBN 978-5-9275-1598-1

© В.А. Брызгалo, А.М. Никаноров,
Л.С. Косменко, О.С. Решетняк, 2015
© ФГБУ «Гидрохимический институт», 2015
© Оформление. Макет. Издательство Южного
федерального университета, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	7
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ И ИХ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ.....	10
1.1. Реки Европейского Севера	15
1.2. Реки Сибири.....	22
1.3. Реки Юга России	35
1.4. Реки Дальнего Востока	40
ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	44
ГЛАВА 3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ.....	57
3.1. Реки Европейского Севера	57
3.2. Реки Сибири.....	60
3.3. Реки Юга России	65
3.4. Реки Дальнего Востока	69
3.5. Изменчивость компонентного состава водной среды устьевых экосистем крупных рек России	71
ГЛАВА 4. ПРИТОК РАСТВОРЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСТЬЕВЫЕ ОБЛАСТИ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ	76
4.1. Реки Европейского Севера	76
4.2. Реки Сибири.....	87
4.3. Реки Юга России	113
4.4. Реки Дальнего Востока	123
ГЛАВА 5. АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА УСТЬЕВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ.....	130

ГЛАВА 6. ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ.....	137
Заключение	145
Термины и определения	148
Список используемых источников.....	152

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проведенные авторами в последние годы исследования антропогенной трансформации гидролого-экологического состояния речных экосистем России, представленные в пяти-томнике «Реки России»*, позволяют говорить об изменчивости компонентного состава водной среды, тенденции повышения содержания отдельных загрязняющих веществ и, как следствие, ухудшении экологического состояния водных объектов, в том числе их устьевых областей. Поэтому определение специфики происходящих в настоящее время изменений состояния устьевых областей рек с учетом региональных особенностей их функционирования и характера антропогенного воздействия является весьма актуальным.

В основу монографии положены результаты многолетних исследований авторов по оценке изменчивости состояния устьевых экосистем крупных рек России по гидрохимическим и гидробиологическим показателям, а также уровня антропогенной нагрузки, полученные при выполнении в 2012–2013 гг. инициативного проекта 12-05-00084_а «Оценка уровня антропогенной нагрузки и экологического состояния устьевых экосистем крупных рек России за многолетний период» при финансовой поддержке РФФИ.

Материалом для проведения такой оценки послужила многолетняя (1980–2012 гг.) режимная гидрологическая, гидрохимическая и гидробиологическая информация Государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН Росгидромета).

На примере устьевых областей крупных рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока в многолетнем аспекте рассмотрены изменчивость компонентного состава водной среды и региональные особенности функционирования устьевых экосистем в условиях современного антропогенного воздействия. Получены данные о пространственной и временной изменчивости притока растворенных химических веществ,

об уровне антропогенной нагрузки на устьевые области за счет речного стока, изменчивости экологического состояния устьевых экосистем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Авторы надеются, что использование полученных результатов, несомненно, будет полезно специалистам широкого круга деятельности в области охраны окружающей среды и позволит повысить эффективность проводимых природо-охранных (водоохранных) мероприятий, а также поможет решению актуальной проблемы оценки и прогноза состояния устьевых экосистем России.

-
- * 1. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть I. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2009. 200 с.
2. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть II. Устьевые области рек Европейского Севера и Сибири (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2010. 296 с.
3. Никаноров А.М., Захаров С.Д., Брызгалов В.А., Жданова Г.Н. Реки России. Часть III. Реки Республики Татарстан (гидрохимия и гидроэкология). Казань: Изд-во ИПК «Бриг», 2010. 224 с.
4. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть IV. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2011. 324 с.
5. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Кондакова М.Ю. Реки России. Часть V. Реки Приазовья (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2012. 316 с.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого экологического и социально-экономического развития отдельных регионов России на современном этапе тесно взаимосвязана с решением вопросов охраны окружающей среды. Важной составляющей устойчивого развития территорий, испытывающих высокое техногенное воздействие, является сохранение стабильного природного функционирования речных экосистем. Это требует изучения как современного гидролого-экологического их состояния, так и их региональных особенностей в условиях современного антропогенного воздействия.

Результаты анализа многолетней режимной гидрологической, гидрохимической и гидробиологической информации ГСН показывают, что в современных условиях экстенсивного развития хозяйственной деятельности на водосборах рек происходят нарушения в функционировании речных экосистем за счет ухудшения качества их водной среды и развития процессов антропогенного эвтрофирования и экологического регресса [Брызгало, Иванов, 1999, 2003; Иванов, Брызгало, 2005; Никаноров и др., 2007а, 2011а–г, 2012; Решетняк и др., 2013; Брызгало и др., 2013].

Наиболее сильное воздействие испытывают устьевые экосистемы рек за счет антропогенных изменений речного стока воды, наносов, компонентного состава растворенных химических веществ. Устьевые области представляют собой «промежуточные» и весьма специфические природные системы, где взаимодействуют, смешиваются и трансформируются два принципиально различных по многим параметрам водных потока (речной и морской) и которые являются своеобразным барьером между рекой и приемным водоемом [Эстуарно-дельтовые системы ... 2007]. Вследствие замедления скоростей течения и обратных течений в них создаются условия для задержки и накопления загрязняющих веществ.

Учитывая специфику устьевых областей рек, одной из приоритетных задач в области охраны окружающей среды является

оценка изменчивости состояния и качества вод устьевых экосистем с учетом региональных особенностей их функционирования, а также уровня антропогенной нагрузки.

Результаты оценки антропогенной нагрузки на устьевые области крупных рек достаточно широко представлены в работах, опубликованных авторами ранее [Брызгалo, Иванов, 1999, 2003; Иванов, Брызгалo, 2005; Никаноров и др., 2007а, 2010б, 2011б; Никаноров, Брызгалo, 2010, 2011]. Однако ряд вопросов, касающихся многолетней меж- и внутригодовой изменчивости компонентного состава и притока растворенных химических веществ на замыкающие створы устьевых областей рек, нуждаются в уточнении в современных условиях ужесточения водоохранного законодательства и возможного снижения антропогенного воздействия.

Как свидетельствуют предыдущие исследования авторов, решить эти актуальные вопросы можно на основе многолетней режимной гидрологической, гидрохимической и гидробиологической информации ГСН Росгидромета.

В качестве объектов исследования выбраны устьевые области рек Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Пур, Таз, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, Кубань, Амур и Камчатка, находящиеся в различных природно-климатических условиях. Это позволило провести широкомасштабные исследования по оценке многолетней изменчивости состояния устьевых экосистем этих крупных рек и уровня антропогенной нагрузки на них.

В работе над монографией авторами использованы собственные ранее опубликованные и полученные в рамках выполнения инициативного проекта № 12-05-00084_а «Оценка уровня антропогенной нагрузки и экологического состояния устьевых экосистем крупных рек России за многолетний период» новые результаты по:

- оценке региональных особенностей изменчивости компонентного состава водной среды устьевых экосистем крупных рек Европейского Севера и Сибири, Дальнего Востока и Юга России;
- расчету объемов притока на замыкающие створы рек таких растворенных химических веществ, как легкоокисляемые орга-

нические вещества (ЛООВ) (по БПК₅), азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный, кремнекислота, фенолы, нефтяные углеводороды, соединения железа, меди, цинка, никеля, хлориды, сульфаты;

– сравнительной межсистемной оценке изменчивости объемов и модулей притока растворенных химических веществ и антропогенной нагрузки на замыкающие створы вышеперечисленных рек;

– оценке изменчивости состояния устьевых экосистем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям;

– ранжированию устьевых экосистем крупных рек России по уровню антропогенной нагрузки и экологическому состоянию.

Кроме того, были использованы результаты фундаментальных исследований В.В. Иванова, В.Н. Михайлова, Н.И. Алексеевского, В.Ф. Полонского и многих других авторов по типизации устьевых областей рек России и особенностях их гидрологических режимов.

Результаты данного обобщения позволят оценить изменчивость антропогенной нагрузки и современного гидролого-экологического состояния устьевых областей крупных рек России в условиях антропогенного воздействия и будут способствовать повышению информативности данных, необходимых при планировании мероприятий по рациональному использованию и охране водных ресурсов различных регионов Российской Федерации.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ И ИХ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Глава 1

Устьевая область реки – это особый географический объект, охватывающий район впадения реки в приемный водоем (океан, море, озеро), сформировавшийся, существующий и развивающийся благодаря устьевым процессам: динамическому взаимодействию, смещению и изменчивости водных масс реки и приемного водоема, отложению и переотложению речных и морских (озерных) наносов. Она может включать в себя устьевой участок реки (нижний отрезок реки, подверженный воздействию приливов и (или) нагонов), эстуарий, дельту, а также эстуарную зону приемного водоема (часть приемного водоема, в пределах которого существенно влияние речного стока) [Михайлов, Горин, 2012].

Устьевые области рек характеризуются специфичностью морфометрического строения, гидрологического режима, и, как следствие, состава и трофической структуры населяющих их сообществ водных организмов.

Выделяют следующие типы устьевых областей [Михайлов, Горин, 2012]:

1. Простая (отсутствуют дельта и эстуарий).
2. Эстуарная (главный элемент – эстуарий, дельта отсутствует).
3. Эстуарно-дельтовая (главный элемент – эстуарий, в котором находится дельта выполнения).
4. Дельтово-эстуарная (главный элемент – дельта выдвижения, в некоторые рукава и водоемы которой систематически проникают соленые воды).

5. Дельтовая (главный элемент – дельта выдвигания, эстуарий отсутствует).

Основная особенность предложенной типизации устьевых областей рек – это подразделение их на части, максимальное число которых четыре: устьевой участок реки, дельта, эстуарий и устьевая зона приемного водоема. При этом признано, что дельта и эстуарий или их комплекс не могут считаться ни частью реки (или ее устьевым участком), ни частью приемного водоема (или его устьевой зоны) [Михайлов, Горин, 2012].

Говоря о функциональной роли устьевых областей рек в процессах взаимодействия речных и морских вод, А.П. Лисицын, В.Н. Михайлов, В.Ф. Полонский и др. особо обращают внимание на то, что устьевые области выполняют роль природных барьеров (седиментологических, морфологических, геохимических и гидробиологических) между реками и морями, где отлагается большая часть приносимых реками наносов, задерживаются и накапливаются растворенные в воде вещества, включая загрязняющие.

Устьевые области, как самостоятельные географические объекты, отличаются следующими особенностями, описанными в работах [Михайлов, 1996, 1997а, б, 2004; Михайлов, Горин, 2012], а именно:

– занимают часть нижнего течения реки (устьевой участок реки, включая дельту, если она имеется) и часть прибрежной зоны приемного водоема (устьевое взморье) с присущей им обычно весьма сложной и очень изменчивой гидрографической сетью;

– представлены совокупностью водотоков (река в пределах устьевым участком, дельтовые рукава и протоки, проливы, искусственные каналы и др.) и водоемов (дельтовые и придельтовые озера, болота, плавни, соленые марши, устьевые лиманы и лагуны, заливы-куты, открытая часть устьевым взморья и др.);

– преобладают аккумулятивные формы рельефа, низкие затопляемые водами реки и прибрежные пространства, сложенные взаимопроницаемыми толщами речных, морских и озерных отложений;

– имеют специфический почвенно-растительный покров с преобладанием болотных и луговых почв и водной или влаголюбивой растительности, а также своеобразную и богатую фауну (рыбы, птицы, пушной зверь и др.);

– на устьевом участке реки преобладает речной гидрологический режим, но на него активно влияет приемный водоем, а на устьевом взморье – свойственный приемному водоему гидрологический режим, на который активно влияет река.

Типизация основных рассматриваемых устьевых областей рек [Иванов, 1974; Михайлов, 1997б; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007] представлена в таблице 1.

Как и для всех водных экосистем, особенности функционирования устьевых экосистем рек обусловлены комплексом факторов формирования абиотической (грунт и водная среда с ее физико-химическими свойствами) и биотической (сообщества водных организмов и биота дельтовой суши) их составляющих.

В абиотическую составляющую устьевых экосистем входит комплекс таких гидролого-экологических характеристик, как сток воды, наносов, тепла, растворенных веществ, скорость течения, ледотермические условия, уровни воды и площади заливания, мутность, температура и соленость воды, величина рН, содержание растворенного кислорода, главных ионов, минеральных форм азота и фосфора, кремния, органических веществ, тяжелых металлов и т.д.

В биотическую составляющую устьевых экосистем входит комплекс сообществ водных организмов (гидробиоценозы): бактериопланктон, фито- и зоопланктон, фитоперифитонные сообщества, макрзообентос, а также макрофиты и сообщества живых организмов дельты.

Степень воздействия абиотических факторов (свет, температура, влага, ветер, химические биогенные элементы и вещества, рН, соленость и др.) на сообщества отражается на жизнедеятельности организмов и влияет на экосистему в целом.

Таблица 1

Типизация устьевых областей крупных рек России [Иванов, 1974; Михайлов, 1997б; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007]

Река	Тип устьевой области	Тип дельт	Тип устьевого взморья	Тип морского края дельт
Европейский Север				
Онега	эстуарная	дельты нет	открытое, приглубое, приливное	нет данных
Северная Двина	дельтово-эстуарная	выдвижения	открытое, приглубое, приливное	слабо расчлененный
Печора	эстуарно-дельтовая	выполнения, многорукавная	Полузакрытое (лагуна), отмелое, приливное	сильно расчлененный
Сибирь				
Обь	эстуарно-дельтовая	выполнения, многорукавная	полузакрытое (губа), отмелое, приливное	сильно расчлененный
Пур	эстуарно-дельтовая	выполнения, малорукавная	полузакрытое (губа), отмелое, неприливное	слабо расчлененный
Таз	эстуарно-дельтовая	выполнения, малорукавная	полузакрытое (губа), отмелое, неприливное	слабо расчлененный
Енисей	эстуарно-дельтовая	выполнения, многорукавная	полузакрытое (губа), отмелое, приливное	сильно расчлененный
Лена	дельтовая	выдвижения, многорукавная	открытое, приглубое, приливное	сильно расчлененный
Яна	дельтово-эстуарная	выдвижения, многорукавная	открытое, приглубое, неприливное	сильно расчлененный
Инди-гирка	дельтово-эстуарная	выдвижения, многорукавная	открытое, приглубое, неприливное	сильно расчлененный
Колыма	дельтово-эстуарная	выдвижения, многорукавная	открытое, приглубое, неприливное	сильно расчлененный
Юг России				
Волга	дельтовая	выдвижения, многорукавная	открытое, отмелое, неприливное	сильно расчлененный
Дон	эстуарно-дельтовая	выполнения, многорукавная	полузакрытое (залив), отмелое, неприливное	слабо расчлененный
Кубань	дельтово-эстуарная	выдвижения, многорукавная	открытое, приглубое, неприливное	сильно расчлененный

Окончание таблицы 1

Река	Тип устьевой области	Тип дельт	Тип устьевого взморья	Тип морского края дельт
<i>Дальний Восток</i>				
Амур	эстуарная	дельты нет	полузакрытое (эстуарий), отмелое, приливное	нет данных
Камчатка	дельтово-эстуарная	блокированная (коса)	открытое, приглубое, приливное	слабо расчлененный

Особенности функционирования экосистем устьевых областей рек обусловлены различными процессами, связанными с [Михайлов, 1996, 1997а, б, 2004; Михайлов, Горин, 2012]:

- потоками воды, солей, наносов и тепла, а также образованием, нарастанием и разрушением ледяного покрова, осадением наносов, эрозией дна и берегов, изменением рельефа дна водоемов и водотоков, структуры гидрографической сети (гидрофизические процессы, в т.ч. гидродинамические);
- поступлением с речным стоком и трансформацией химических веществ и переносом энергии химических связей;
- потоками вещества и энергии, обусловленными жизнедеятельностью гидробиоценозов.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что устьевые области рек весьма многообразны не только вследствие различий в типах устьевых участков и дельт, особенностей гидрологического режима взаимодействующих рек и морских акваторий, климатических условий, но и характера и интенсивности хозяйственной деятельности на водосборах рек, в прибрежной зоне и на море [Антропогенное воздействие ... 1999; Комплексные исследования ... 2003; Иванов, Брызгалов, 2005].

Краткая характеристика устьевых областей крупных рек приводится для получения общего представления об их региональных особенностях функционирования и многообразии на территории России.

1.1. Реки Европейского Севера

Устьевая область р. Онега относится к типу приливного устья с однорукавным устьевым участком и открытым отмелым устьевым взморьем и по своим геоморфологическим признакам приближается к эстуарию [Кураева, Лупачев, 1986; Михайлов, 19976, 2004].

Устьевая область Онеги включает в себя устьевой участок реки протяженностью 26 км и прилегающую к устью реки мелководную зону в вершине Онежского залива шириной 20 км (рис. 1). Верхняя граница устьевой области ограничена резким подъемом дна реки у Кокоринских порогов, где река пересекает моренную грядку. Ложе устьевого участка реки врезано в трудноразмываемые горные породы. Выходы кристаллических пород имеются и в зоне устьевого бара, где сток распределяется между двумя баровыми ложбинами [Лупачев, 1982].

Онега относится к рекам с восточно-европейским типом гидрохимического режима (высокое весеннее половодье и выраженные зимняя и летняя межени) и имеет смешанное питание с преобладанием снегового [Михайлов, 19976].

Сток воды, поступающей в устьевую область Онеги, составляет в среднем 16 км^3 в год, его межгодовые изменения составляют от 64 до 152 %. Примерно 58 % стока приходится на весеннее половодье (апрель-июнь), 31–35 % – на май, 15–19 % – на июнь [Лупачев, 1982]. Среднее многолетнее превышение стокового уровня у реки (в 5 км выше устьевого створа) над средним уровнем моря равняется 11 см. В половодье эта величина возрастает до 90 см, а при заторах льда еще больше.

Максимальные подъемы уровня воды на устьевом участке реки наблюдаются в период весеннего ледохода при образовании заторов льда в устье реки или на фарватерах устьевого бара. Средняя величина приращения уровня вследствие заторов льда в период весеннего половодья у г. Онега приблизительно равна 80 см. Помимо заторов, максимальные уровни воды создаются штормовыми нагонами [Лупачев, 1982].

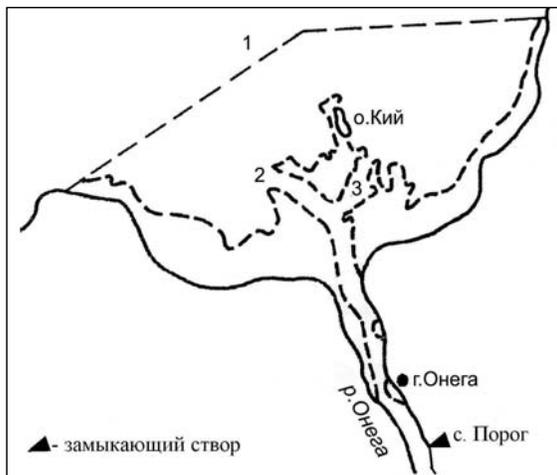


Рис. 1. Устьевая область р. Онега [Лупачев, 1982]
 (1 – граница устьевой взморья; 2 – Карельский фарватер бара;
 3 – Двинский фарватер бара)

Термический режим вод характеризуется сезонным ходом температуры воды с максимумом в безледный период в июле, достигающим в среднем 18–20 °С. При наличии ледяного покрова температура воды сохраняет стабильное значение, равное температуре замерзания. В весенне-летний период (май-июнь) температура речной воды выше температуры воды на взморье, поэтому речной сток оказывает заметное тепляющее влияние на воды Онежского залива.

Особенности гидрологического режима в наибольшей степени связаны с процессом проникновения приливных волн и осолоненной воды в устье реки. Проникновение осолоненных вод в район г. Онега – довольно частое явление. Оно является следствием внедрения устьевой зоны смешения речных и морских вод в период прилива на устьевой участок. Максимальная дальность проникновения осолоненных вод в устье Онеги в летнюю межень не превышает 10 км [Лупачев, 1982].

Неравномерное распределение стока воды по сезонам создает значительную неравномерность внутри годового изменения ряда связанных со стоком гидрологических элементов. В частности, большая часть массы наносов, средняя годовая величина которой составляет 250 тыс. т, выносятся в море в период половодья [Лупачев, 1982].

Устьевая область р. Северная Двина относится к типу приливного устья с многорукавной дельтой и с приглубым устьевым взморьем. Она охватывает обширный участок нижнего течения реки от впадения р. Пинега до морского края дельты и юго-восточную часть Двинского залива Белого моря [Михайлов, 19976; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

Устьевая область Северной Двины делится на три части (рис. 2):

- устьевой участок (от устья р. Пинега до г. Архангельск) протяженностью 95 км;
- дельта с тремя основными рукавами и многочисленными протоками;
- устьевое взморье, представляющее собой мелководную часть Двинского залива, с площадью 260 км².

Характерная особенность долины устьевого участка реки – так называемое Холмогорское расширение долины в месте ее пересечения моренными грядами. Протяженность Холмогорского расширения долины около 20 км, наибольшая ширина – 15 км. Наличие моренных холмов в долине реки привело к формированию разветвленного, многорукавного русла реки, напоминающего «внутреннюю дельту». Четыре крупных рукава этой «дельты» сливаются ниже, формируя слабо извилистое, разветвленное главное русло.

Данный участок Северной Двины имеет хорошо выраженную долину, широкую пойму и сложно-разветвленное русло. Река здесь формирует большие острова и сеть крупных рукавов, из которых главные – Курополка, Богоявленка, Лиговка. Ниже Холмогорского разветвления река также имеет ряд рукавов.

Дельта реки начинается у г. Архангельск, слева (по направлению стока) она ограничена Никольским рукавом и примыкаю-

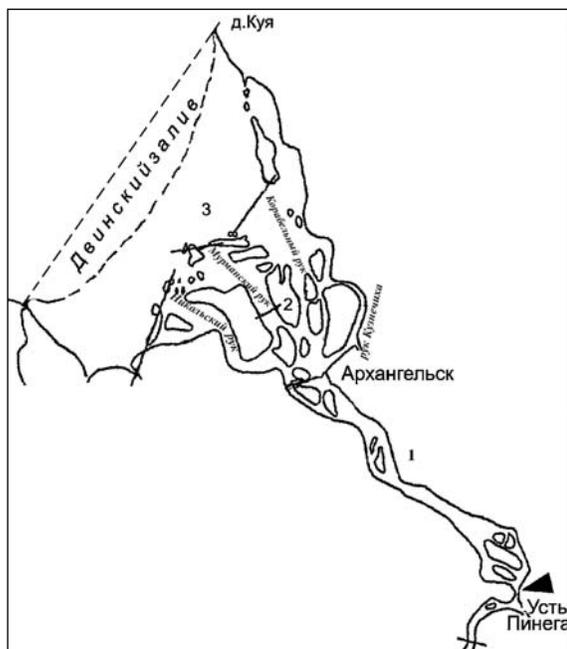


Рис. 2. Устьевая область р. Северная Двина
[Эстуарно-дельтовые ... 2007]

(▲ – замыкающий створ реки; линиями обозначены морская и речная границы; 1 – устьевой участок реки; 2 – дельта; 3 – устьевое взморье)

щей к нему системой мелких протоков (Шихириха, Малкурья и др.), справа – верхней частью Корабельного рукава, а затем протокой Кузнечиха, низовой частью протоки Маймакса и Корабельным устьем [Михайлов, 1997б].

Устьевая область р. Северная Двина находится под постоянным воздействием реки и моря. В результате взаимодействия речных и морских вод складывается сложный гидрологический режим устьевой области, характеризующийся слабым влиянием приливной волны. Максимальные приливные расходы в устье реки в 5–8 раз меньше речных руслоформирующих расходов. Поэтому морфология устьевое участка реки имеет значитель-

ное сходство с морфологией неприливногo устья реки [Полонский, Кузьмина, 1986].

Режим колебания уровня воды в устьевой области Северной Двины сложен и различен в отдельных ее частях. Для приморского участка реки характерен ярко выраженный годовой ход, в котором выделяются два максимума и два минимума. Первый максимум приходится на весеннее половодье (конец апреля – май). В вершине устьевой области (с. Усть-Пинега) весенний подъем уровня – 9–10 м, у дельты он уменьшается до 4 м, а возле устьев рукавов снижается до 2 м. Минимальные уровни наблюдаются дважды в году: в феврале-марте и в августе – начале сентября [Гидрология устьевой ... 1965; Бреховских и др., 2003].

Приливные течения отчетливо проявляются на расстоянии до 60 км от устья и имеют полусуточный характер. Во время весеннего половодья они затухают, в рукавах дельты наибольшие приливные волны обычны летом, наименьшие – зимой (в конце февраля – начале марта).

Нагоны и сгоны в устье Северной Двины связаны с прохождением циклонов над арктической областью. Как правило, нагоны преобладают над сгонами.

Гидроствор у с. Усть-Пинега (он же является замыкающим створом реки) замыкает площадь водосбора реки, равную 348 тыс. км², что составляет 97,5 % всей площади водосбора бассейна Северной Двины. Годовой объем стока речных вод достигает 105 км³/год [Гидрология устьевой ... 1965].

По характеру внутригодового распределения стока Северная Двина относится к типу рек с преобладающим весенним половодьем. Основная часть стока (50–60 %) поступает в весенний период (апрель-июнь) вследствие таяния снега. В осенний период часто проходят дождевые паводки, поэтому водность реки в этот период, как правило, больше, чем в летний и зимний периоды [Гидрология устьевой ... 1965; Ivanov, Bryzgalov, 2006].

В дельте сток воды распределяется следующим образом: 35,9–39,3 % стока проходит через Никольский рукав, 23,5–26,6 % – через Корабельный рукав, 13,5–16,6 % – через Маймаксу и 7,6–3,4 % – через Кузнечиху.

Для устьевоего участка реки характерен четко выраженный годовой ход колебания уровня воды с двумя максимумами и двумя минимумами. Первый максимум отмечается в период весеннего (апрель-май) половодья, второй – осенью (сентябрь-октябрь), что связано с увеличением речного стока от дождей и нагонных подъемов уровня воды. Минимальные уровни воды отмечены зимой (февраль-март) и летом (август – начало сентября). Соленость поверхностных и придонных вод постепенно возрастает в направлении к морю, достигая максимума зимой. В период паводка весной вся водная толща занята распресненными водами [Алабян и др., 1991].

Русловые процессы на устьевом участке реки замедлены [Гидрология устьевой ... 1965]. В устье р. Северная Двина и в прилегающей к нему акватории накапливается значительное количество осадочного материала, что приводит к быстрому обмелению отдельных участков прибрежной зоны [Кузнецов и др., 1991].

Устьевая область р. Печора относится к типу приливно-го устья с дельтой выполнения и закрытым отмелым устьевым взморьем и включает в себя устьевую участок реки протяженностью 190 км от впадения р. Сулы до морского края дельты и устьевое взморье – Печорскую губу [Балакина и др., 2013] (рис. 3).

Речные воды поступают в Печорскую губу потоками. Первый поток выходит из устьевоего створа рукава Большая Печора и составляет около 55 % суммарного стока. Второй поток формируется за счет стока западных протоков дельты, впадающих в Коровинскую губу, и восточных протоков дельты, впадающих в пролив Глубокий Шар, и составляет 45 % суммарного стока [Полонский, 1984; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

Режим уровня воды устьевоего участка р. Печора формируется под доминирующим влиянием стока воды, поступающего из бассейна реки. Воздействия приливных и сгонно-нагонных явлений проявляются в период пониженного стока. Сезонный ход уровня воды на устьевом участке повторяет ход водности реки.

Русловые процессы развиваются по типу многорукавности. Между главным руслом и протоками, или, как их здесь назы-

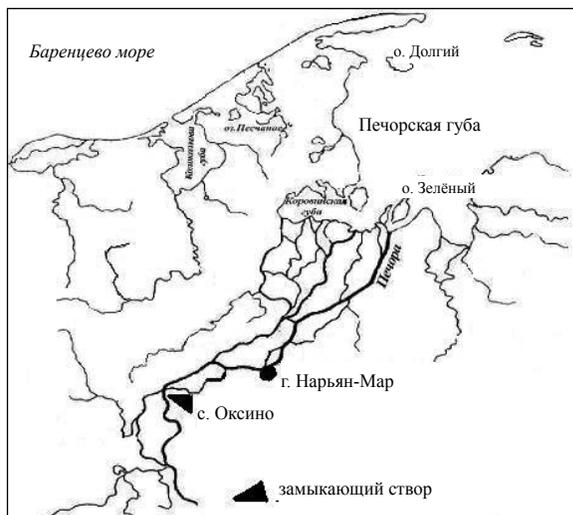


Рис. 3. Устьевая область р. Печора [Залогин, Родионов, 1969]

вают, шарами, идет беспрестанное перераспределение стока. Рукава дельты имеют достаточную пропускную способность в условиях открытого русла. Приливные и сгонно-нагонные колебания уровня устьевого взморья – Печорской губы – являются источниками длинных волн, которые проникают через устьевые створы водотоков внутрь дельты [Лупачев, 1979; Лупачев, Скриптунов, 1979; Лукин и др., 2000].

Средний годовой сток р. Печора равен 126 км^3 . В половодье (май-июль) проходит в среднем до 67 % годового стока, в межень (август-октябрь) до 20 % и зимой (ноябрь-апрель) до 13 %. В летнюю межень сток реки распределяется почти поровну между Большой и Малой Печорой, в половодье преобладает сток по Малой Печоре (55 %). Зимой при низких горизонтах воды по Малой Печоре проходит до 70 % стока реки. Средний годовой сток наносов равен 8,5 млн т [Михайлов, 19976].

1.2. Реки Сибири

Характерной особенностью водосбора Карского моря является существование далеко вдающихся в сушу заливов-губ (Обская, Гыданская, Тазовская, Енисейская), имеющих субмеридиальное направление и собирающих сток крупных рек этого региона (рр. Обь, Надым, Пур, Таз, Енисей, Пясины). Наиболее сложным географическим объектом является Обско-Тазовская устьевая область, включающая устьевые участки рек Обь, Надым, Пур, Таз и обширное устьевое взморье – Обскую и Тазовскую губы (рис. 4). В пределах этого природного комплекса происходят специфические устьевые процессы, обусловленные взаимодействием и смешением речных и морских вод, а также процессами дельтообразования [Иванов, 1974, 1978].

Устьевые участки рек Обь, Пур и Таз имеют развитые дельты и относительно небольшие придельтовые районы (устьевые участки), где еще наблюдаются сгонно-нагонные явления. Границами между этими районами устьевых участков рек являются вершины дельт.

Устьевая область р. Обь – эстуарно-дельтовая система, разделяется на придельтовую и дельтовую части (устьевой участок и дельта). В придельтовый участок входит отрезок реки от вершины устьевой области (речная граница устьевой области) до начала дельты – место отделения от главного русла Оби двух крупных водотоков, непосредственно впадающих в Обскую губу: Хама-нельскую и Надымскую Обь.

Несмотря на то, что нагонные явления в р. Обь наблюдаются в виде подпора уровней вплоть до места слияния Малой Оби и основного русла (351 км от морского края дельты), в качестве речной границы устьевой области считается замыкающий створ р. Обь у г. Салехард (287 км от морского края дельты) (см. рис. 4) [Никаноров, Брызгалов, 2010].

Гидрологический режим устьевой области формируется под влиянием целого ряда местных факторов, важнейшими из ко-

торых являются речной сток с его физико-химическими характеристиками, динамика и термохалинная структура вод моря, метеорологические условия. Значительную роль в формировании гидрологического режима имеют также рельеф коренных пород и аллювиальных отложений, характеристики гидрографической сети дельт, почвенно-растительный покров, наличие многолетнемерзлых грунтов [Михайлов, 1997б].

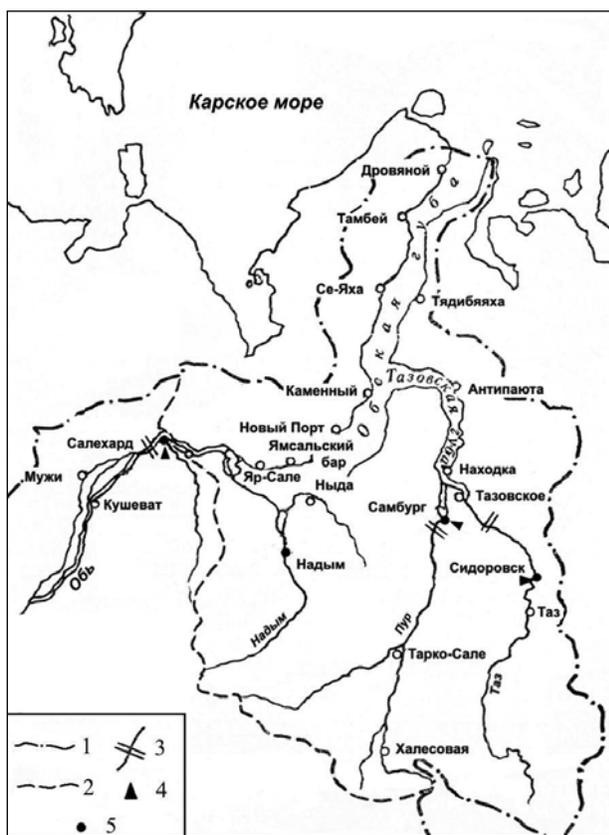


Рис. 4. Обско-Тазовская устьевая область [Иванов, 1974]

(1 – граница водосбора р. Обь, 2 – граница части водосбора Оби ниже замыкающего створа у г. Салехард, 3 – граница устьевой области, 4 – замыкающий створ реки, 5 – гидрологические посты)

В последние десятилетия заметную роль в многолетней, сезонной и кратковременной изменчивости отдельных элементов гидрологического режима приобрел антропогенный фактор. Характерной особенностью устьевой области является то, что южная часть Обской губы и вся Тазовская губа в течение всего года заполнены пресными речными водами [Никаноров, Брызгалов, 2010].

Река Обь по водному режиму принадлежит к западно-сибирскому типу, характеризующемуся растянутым весенним половодьем, устойчивой зимней меженью и преимущественно снеговым типом питания. Весеннее половодье длится с мая по август, максимальный сток отмечается в июне.

Среднемноголетний водный сток реки у г. Салехард составляет 391 км³/год. Поскольку от замыкающего створа площадь бассейна реки Обь еще увеличивается, то добавочный сток на этом участке увеличивает сток реки перед впадением в Обскую губу до значения 402 км³/год [Михайлов, 1997б].

В период открытого русла и пониженного стока Оби (с середины июля до середины сентября) на гидролого-экологический режим устьевой области реки сильное влияние оказывают сгонно-нагонные явления. Нагоны на морском крае дельты достигают 2,5–3 м и уменьшают расход воды в рукавах. При сильных нагонах скорости течения уменьшаются или даже становятся обратными [Михайлов, 1997б].

Устьевая область р. Пур является эстуарно-дельтовой системой с полузакрытым приливным взморьем. Устьевой участок реки имеет длину около 100 км [Геоэкологическое состояние ... 2007]. Вершиной дельты считают место в 10 км ниже пос. Самбург, где влево от реки отделяется протока Пар-Де. Основной рукав дельты в 23 км от Тазовской губы делится на два водотока – Пур и Малый Пур.

Для структуры гидрографической сети устьевой области р. Пур характерным является наличие системы магистральных рукавов, формирующих региональную микродельту. Дельта – это левый рукав под названием Безымьянная протока и правый – Старый Пур. Каждый из этих рукавов, в свою очередь, разветв-

ляется цепочками островов, вытянутых посередине их русел, расширяющихся к устьевому створу. Большой Пур разветвляется на ряд протоков, расходящихся к устью веером. Характерным для русла р. Большой Пур является почти полное отсутствие песчаных отложений на устьевом участке русла [Коротаев, Чалов, 1976; Коротаев и др., 1976].

Бассейн р. Пур практически полностью расположен в зоне тайги и редкостойных лесов, за исключением низовьев, для которых наиболее характерным ландшафтом являются арктические тундры. Наличие сплошной вечной мерзлоты, мощность которой колеблется от 250 до 450 м, при условии широкого распространения жильных льдов обуславливает преобладание в пределах сильно заболоченной Пуровской низменности современных мерзлотно-солифлюкационных процессов и термокарстовых явлений.

На формирование речного стока, русловых и устьевых процессов оказывают влияние суровость климата (среднегодовая температура воздуха $-8,0...10$ °С), постоянное переувлажнение и заболоченность территории (норма годовых сумм осадков 500–550 мм), наличие вечной мерзлоты и короткий безледный период (не более 120 дней в году) [Якутия, 1965; Иванов и др., 1980].

Река Пур принадлежит к рекам с весенним половодьем и преобладающим снеговым питанием. Средний многолетний водный сток на замыкающем створе у пос. Самбург составляет $28,4 \text{ км}^3$ в год. Межгодовая изменчивость годового стока р. Пур довольно незначительна [Никаноров, Брызгалов, 2010].

В водном режиме р. Пур выделяют высокое и одновершинное весеннее половодье, неустойчивую летнюю межень, летне-осенние паводки и длительную устойчивую зимнюю межень. Половодье в низовьях начинается в первой половине мая и оканчивается в начале июля. Летняя межень продолжается 2,5–3 месяца.

Распределение стока по рукавам неравномерно. В межень доля стока р. Большой Пур в дельте Пура составляет 60–65 % общего стока реки; в протоку Безымянную поступает 20 % стока, а остальные 15–20 % рассредоточиваются по второстепенным

протокам. Судя по данным о сезонном перераспределении стока в дельте Пура, наиболее активным водотоком является протока Безымьянная. Сток взвешенных наносов реки у пос. Самбург в среднем равен 620 тыс. т/год. Средняя мутность воды очень мала – около 25 г/м³. Интенсивность русловых процессов в дельте невелика [Иванов и др., 1980; Иванов и др., 2004].

Устьевая область р. Таз относится к дельтовому типу и имеет малорукавную дельту выполнения. Устьевой участок р. Таз имеет длину 180 км [Михайлов, 19976]. За вершину дельты принят узел ответвления от реки протоки Ере-Ям в 82 км от впадения р. Таз в губу. Ниже река разделяется на основные рукава дельты – рукав Таз (левый), Себер-Пород (средний) и Малый Таз (правый). Ниже п. Тазовский от рукава Таз отделяется вправо рукав Харючи-Надо, который затем сливается с рукавом Себер-Пород.

Район Тазовской губы и Тазовского полуострова относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлотных пород. Сквозные талики вероятны под руслами крупных рек, озер и под акваторией губы. Мощность многолетней мерзлоты достигает 400 м. На всех геоморфологических уровнях широко развиты современные мерзлотные процессы: термокарст, пучение, пятнообразование, солифлюкация [Геоэкологическое состояние ... 2007].

Глубина сезонного протаивания зависит от гидрогеологических и природных условий местности. Нагоны в вершине Тазовской губы достигают 1,8 м, а дальность их предельного распространения в реку составляет 180 км [Никаноров, Брызгалю, 2010].

В дельте р. Таз сток реки распределяется по рукавам следующим образом. В высокую межень в рукав Таз поступает 62 %, в Малый Таз 38 % стока реки. В половодье доля стока рукавов составляет соответственно 55 и 45 % стока реки. Сток собственно р. Таз распределяется между тремя основными рукавами – Яры, Няу-Яха и Харючи-Надо в соотношении 47, 42 и 11 % в межень и 48, 39 и 13 % в половодье [Коротаев, Чалов, 1976; Коротаев и др., 1976; Михайлов, 19976].

Река Таз относится к рекам с весенним половодьем и преимущественно снеговым питанием. Средний многолетний расход воды у пос. Сидоровск составляет 33,0 км³, на участке пос. Сидоровск – губа добавляется еще в среднем 12,3 км³. Межгодовая изменчивость объемов водного стока весьма незначительная. С конца мая вследствие поступления талых вод наблюдается увеличение объемов притока. На летний период (июнь-июль) приходится до 56 % годового стока, на осень (сентябрь-ноябрь) – около 26 %. Самый многоводный месяц – июнь (34,3 %) [Никаноров, Брызгало, 2010].

Устьевая область р. Енисей относится к типу эстуарно-дельтовых систем. Это одна из протяженных устьевых областей. Морская граница устьевой области вследствие сильного опресняющего влияния огромного стока Енисея простирается в Северном Ледовитом океане далеко от входа в Енисейский залив.

Устьевая область р. Енисей делится на (рис. 5) [Иванов, Осипова, 1974; Михайлов, 19976]:

- придельтовый участок длиной 670 км (Туруханск – Усть-Порт);
- дельтовый участок длиной 200 км (Усть-Порт – Байкалово);
- устьевое взморье с внешним устьевым баром в пределах Енисейской губы длиной 120 км (Байкалово – Сопочная Корга).

Морской район, где еще ощущается распресняющее влияние енисейских речных вод, включает Енисейский залив длиной 125 км и прилегающую часть Карского моря [Михайлов, 19976]. Речная граница устьевой области располагается в районе впадения р. Нижняя Тунгуска в Енисей, куда в периоды низкого стока могут распространяться нагонные колебания уровня.

Своего наибольшего значения сгоны и нагоны достигают у северной оконечности Бреховского архипелага. Дальность их проникновения зависит от высоты нагонной волны и величины речного стока.

В пределах устьевой области р. Енисей происходит естественное добавление водного стока за счет боковой приточности (реки Курейка, Хантайка, Дудинка, Большая и Малая Хетта, Танама). На участке ниже м. Мукуснинский основная часть его поступала в ру-

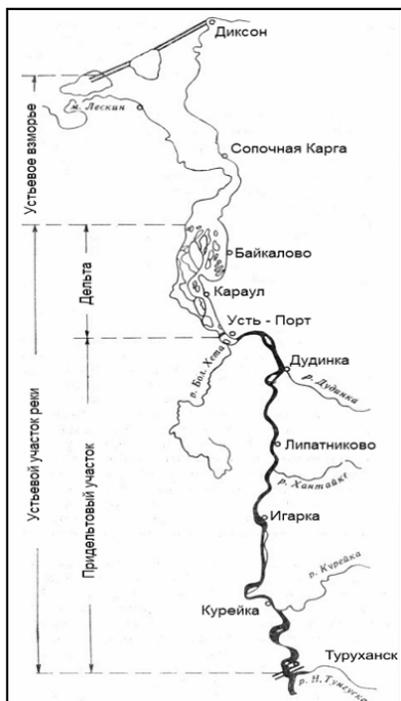


Рис. 5. Устьевая область р. Енисей [Иванов, Осипова, 1974]

по течению от замыкающего створа происходит естественное приращение водного стока вследствие бокового притока [Иванов, Осипова, 1974].

Межгодовые и внутригодовые колебания объемов стока довольно значительные. Самые многоводные месяцы – май, июнь и июль. На них приходится более 60 % годового стока воды, в том числе на июль – около 36 %. Доля стока зимних месяцев (ноябрь-апрель) составляет 17,8 % [Иванов, Осипова, 1974; Михайлов, 1997б].

Устьевая область р. Лена. Основными элементами устьевой области р. Лена являются устьевой участок (протяженностью

кава Малый Енисей (22,5–23,7 %), Большой Енисей (68,5–70 %) и протоку Охотскую (3,0–3,5 %). К устью доля стока главного водотока дельты уменьшается до 41–42 % [Иванов, Осипова, 1974; Михайлов, 1997б].

Основным источником питания реки служат талые снеговые и дождевые воды; грунтовые воды в питании реки имеют второстепенное значение. Водный режим р. Енисей характеризуется высоким и продолжительным весенне-летним половодьем, устойчивой осенней и низкой зимней меженью. Максимальные расходы воды весенне-летнего половодья отмечаются с конца мая до середины июня при ледоходе или в первые дни после очищения реки ото льда. Среднегодовой расход воды р. Енисей у г. Игарка составляет 608 км³/год. Ниже по

211 км от с. Кюсюр), огромная дельта и устьевое взморье, занимающее в море Лаптевых значительную площадь (рис. 6).

Современная гидрографическая сеть Ленской дельты делится на [Якутия, 1965; Михайлов, 1997б]:

- придельтовый участок – так называемая «Ленская труба»;
- Булкуро-Титарынское расширение;
- основной конус выноса дельтовых рукавов (протоки Бол. Туматская, Трофимовская, Сардахская);
- дельты выполнения остаточных заливов у проток Оленекская, Быковская и Арынская.

Трофимовская протока является продолжением главного русла реки, течет в северном направлении среди островов, заливаемых в половодье. Несколько ниже о. Столб от нее отделяются протоки Саардахская, Баарчах-Юесэ и Антипинская. В западном направлении течет Оленекская протока, от которой отделяется Туматская и впадает Булкурская протока [Антонов, 1967; Михайлов, 1997б].

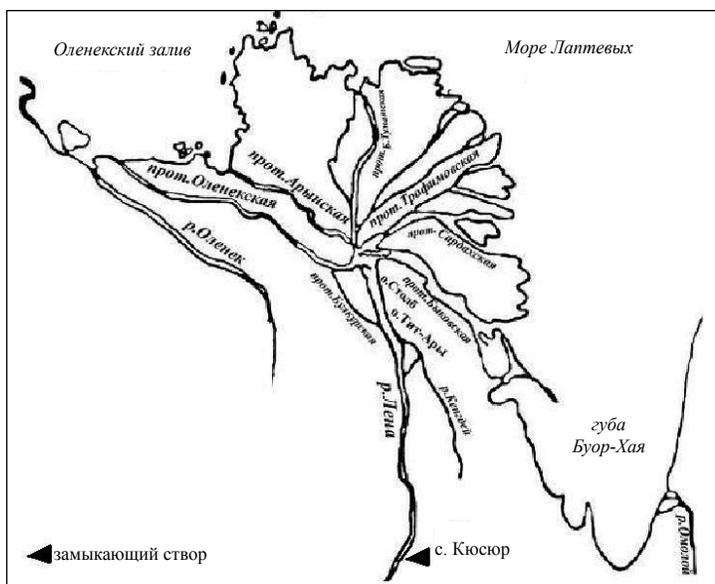


Рис. 6. Устьевая область р. Лена [Антонов, 1967]

По геоморфологическим признакам дельта р. Лена делится на западную и восточную, граница между которыми проходит по Туматской протоке [Коротаев, 1984; Коротаев и др., 1990]. В западной части 85 % площади занято сушей. В восточной части на долю суши приходится лишь 70 %. Для островов характерна большая озерность (1/3 их общей площади) и распространенность мерзлотных форм рельефа [Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

На устьевом участке преобладает речной гидрологический режим, но на него оказывает влияние приемный водоем – море. На устьевом взморье, наоборот, преобладает гидрологический режим, свойственный приемному водоему (море), но на него активно влияет река. Интенсивность влияния приемного водоема на речной режим и речного стока на режим моря соответственно убывает вверх по реке и в сторону моря от устьевого створа [Никаноров, Брызгалов, 2010].

Гидрологический режим в устьевой области р. Лена в значительной степени определяется особенностями водного режима реки, который характерен для рек восточно-сибирского типа и имеет растянутое снеговое половодье и дождевые паводки. Распределение стока воды и наносов по основным магистральным дельтовым рукавам существенно изменяется в течение года в зависимости от наполненности русла, уклонов водной поверхности и морфологии истоков каждого рукава. Так, при увеличении водности Лены доля стока в Быковской, Оленекской и Туматской протоках увеличивается за счет уменьшения водности Трофимовской. При переходе от половодья к межени наблюдается обратный процесс [Иванов и др., 1983].

Сток воды в течение года распределен неравномерно и в период половодья у с. Кюсюр проходит около 60 % годового стока воды. Ниже по течению от замыкающего створа сток воды р. Лена возрастает вследствие бокового притока и положительного водного баланса самой дельты [Магрицкий, Михайлов, 2006].

Устьевая область р. Яна относится к дельтовому типу и включает дельту площадью около 6600 км² и открытое устьевое взморье площадью 800 км² [Михайлов, 1997б; Нижняя Яна, 1998] (рис. 7). Из многочисленных рукавов дельты в настоящее время активны

лишь Правая и Главное Русло. Эти рукава развиваются и увеличивают свою долю стока. Многие небольшие рукава (Самандон, Кочевая, Дурганова, Камелек, Ильин-Шар, Тарынгнаах) имеют явную тенденцию к отмиранию [Бабич и др., 1992; Бабич, 1999].

Сток воды по рукавам распределяется следующим образом: до Развилки большая часть стока остается в основном русле; после Развилки большая часть стока поступает в Главное Русло и протоку Правую; при снижении водности резко возрастает доля стока основного русла у Развилки (от 63 до 82 % стока реки) и Главного Русла ниже Развилки (от 34 до 52 %), остальные рукава существенно уменьшают свою долю стока.

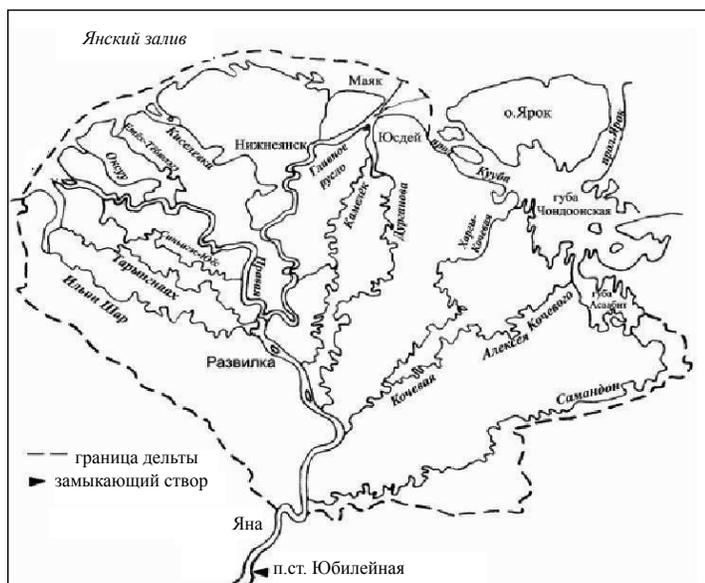


Рис. 7. Устьевая область р. Яна [Нижняя Яна, 1998]

По характеру водного режима р. Яна занимает промежуточное положение между восточно-сибирским и тянь-шаньским типами рек. Для нее характерно высокое весеннее половодье, летне-осенние паводки и очень низкая зимняя межень. Преобладает снеговое и дождевое питание [Никаноров, Брызгалов, 2010].

Межгодовое и внутригодовое распределение водного стока крайне неравномерное. Диапазон колебания среднегодовых величин достигал 19,6–57,1 км³. На три месяца, с июня по август, приходится 81 % годового стока (в июне 34,7 %, в июле 25,5 %, в августе 20,7 %). Суммарная доля стока в период зимней межени (ноябрь–апрель) менее 1 % годового. Максимальные расходы воды обычно наблюдаются в июне [Никаноров, Брызгалов, 2010].

Устьевая область р. Индигирка. Границы устьевой области р. Индигирка практически совпадают с границами дельтового участка, расположенного на прибрежной Яно-Индигирской (Приморской) низменности в зоне втекания реки на отмелем прибрежном мелководье Восточно-Сибирского моря [Бабич и др., 2001].

Замыкающий створ реки у с. Воронцово расположен в 150 км от верхней границы устьевой области, в 220 км от вершины дельты и в 350 км от устьевого створа протоки Средняя. Ниже по течению от него отделяется несколько протоков. В 30 км ниже ответвления Русско-Устьинского рукава р. Индигирка делится на Средний рукав и Колымскую протоку, от которой отделяется большая протока Уларовская (рис. 8). Кроме этих рукавов, в дельте насчитывается множество мелких протоков и около сотни островов [Михайлов, 1997б].

Естественным продолжением главного русла р. Индигирка является протока Средняя, которая принимает вначале главные правые протоки Верхний Кочуган, Кочерово, Оччугуй, Тас, а затем второстепенные (справа протоки Босякова, Колымская, Майданова, слева – Китинская, Маленькая). В 27 км от морского края дельты протока Средняя разветвляется на серию длинных параллельных протоков (Милигирская, Чукучанияхская и другие), разделенных островами (Антоновский, Чукучанияхский и другие). Протока Средняя находит выход на открытое взморье двумя протоками среди молодых низких островов (Немков, Смерти, Деревянный и другие), левая из которых продолжается на взморье русловой бороздиной и формирует устьевой бар на расстоянии 30 км от устьевого створа [Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

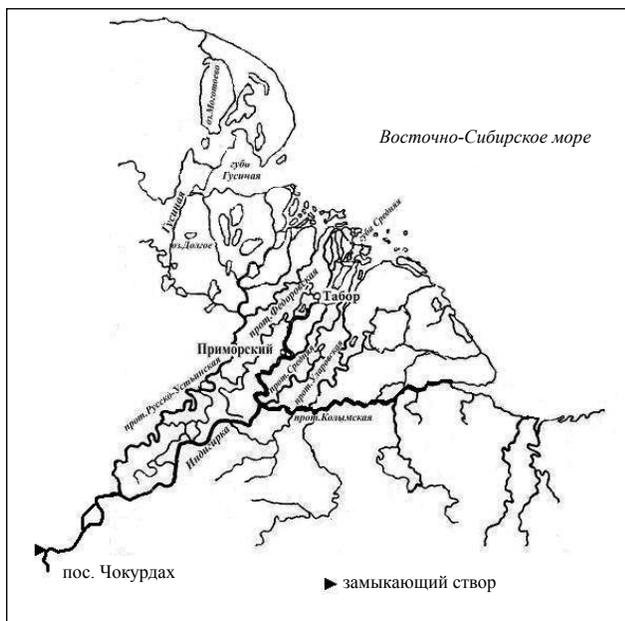


Рис. 8. Устьевая область р. Индигирка [Залогин, Родионов, 1969]

Распределение речного стока, поступающего к вершине дельты по рукавам дельты, зависит от фазы гидрологического режима. По протоке Русско-Устьинской при колебании уровня воды у пос. Чокурдах 400–750 см проходит от 38,0 до 39,6 % воды, по протоке Средняя от 60,3 до 63,8 % и протоке Колымская от 7,46 до 10,5 % общего стока реки в вершине дельты [Бабич и др., 2001; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

Река Индигирка принадлежит к рекам с тянь-шаньским типом водного режима, имеет длительное половодье в теплую часть года, во время которого происходит ряд подъемов и спадов уровней, и низкую зимнюю межень. На формирование стока р. Индигирка влияет дождевое (50–65 %), снеговое (20–40 %) и подземное (5–10 %) питание [Косицкий, Магрицкий, 1996].

Среднемноголетний объем годового стока воды р. Индигирка у гмс. Воронцово равен 50,4 км³/год, сток воды в море в среднем составляет около 54,1 км³/год.

Многолетние колебания годового стока воды нижнего течения реки носят хорошо выраженный циклический характер. Внутригодовые колебания уровней воды на Нижней Индигирке связаны с весенне-летним половодьем, летним и осенним паводками, низкой зимней меженью. Увеличение стока воды в реке после зимней межени начинается обычно во второй половине мая – начале июня. Первая волна половодья, обязанная своим происхождением таянию сезонных снегов, заканчивается в июне, после чего проходит основная масса воды. На июнь приходится 29,2 % годовой величины стока воды, а на июль-август – 51,7 %, а в целом на период с июня по сентябрь – 94,4 % стока [Иванов и др., 2004].



Рис. 9. Устьевая область р. Колыма [Никаноров и др., 2011а]

Устьевая область р. Колыма относится к дельтовому типу и делится на устьевой участок длиной 283 км (от с. Колымское) и устьевое взморье (рис. 9). Дельта р. Колыма площадью 3250 км² образуется разделением реки на два, затем на три больших рукава – Колымская (Каменная), Походская, Чукочья протоки и большое число мелководных проток, омывающих многочисленные наносные острова дельты [Михайлов, 1997б].

Основной сток воды по рукавам дельты Колымской устьевой области распределяется между системами проток Походская и Каменная. В результате ответвления левых поперечных про-

ток сток протоки Каменной вниз по течению уменьшается; на бар протоки поступает около 30 % стока от вершины дельты.

Среднемноголетний объем годового стока воды за период с 1977 по 2002 г. у с. Колымское составил 103 км^3 , на выходе в море у пос. Амбарчик – 124 км^3 . Межгодовой диапазон колебания годового стока составил летом $59,0\text{--}153 \text{ км}^3$. Внутригодовое распределение объемов стока довольно значительно. На период май–сентябрь приходится 87 % годового стока. Наиболее многоводные месяцы – июнь – 38 % и июль – 19 % стока. В зимние месяцы сток очень низок – $0,46\text{--}1,2 \%$. Зарегулирование реки Колымской ГЭС, начиная с 1983 г., несколько уменьшило сток в период половодья и увеличило зимний сток реки [Иванов и др., 2004].

1.3. Реки Юга России

Устьевая область р. Волга относится к дельтовому типу, занимает в современных условиях около $120\,000 \text{ км}^2$ и состоит из дельты ($11\,000 \text{ км}^2$) и устьевого взморья ($108\,000 \text{ км}^2$). Дельта реки имеет обширную разветвленную русловую сеть, состоящую из множества рукавов, протоков и ериков [Устьевая область Волги ... 1998] (рис. 10).

Ветвление русел водотоков начинается в основном ниже с. Верхнее Лебяжье и усиливается к морскому краю дельты, где волжский сток поступает на взморье более чем через 800 водотоков [Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

Границы дельты р. Волга принято проводить на западе по р. Бахтемир, на востоке по рекам Бузан и Сумница. В указанных границах дельта р. Волга представляет собой обширную аккумулятивную равнину, полого снижающуюся к урезу моря и сильно расчлененную дельтовыми рукавами, протоками и ериками. Ширина дельты р. Волга резко возрастает от ее вершины к морскому краю. Если в вершине ширина дельты составляет $15\text{--}17 \text{ км}$, то у морского края – 200 км [Михайлов, 1997б].

Устьевым взморьем р. Волга фактически является весь Северный Каспий, который подвержен сильному опресняющему

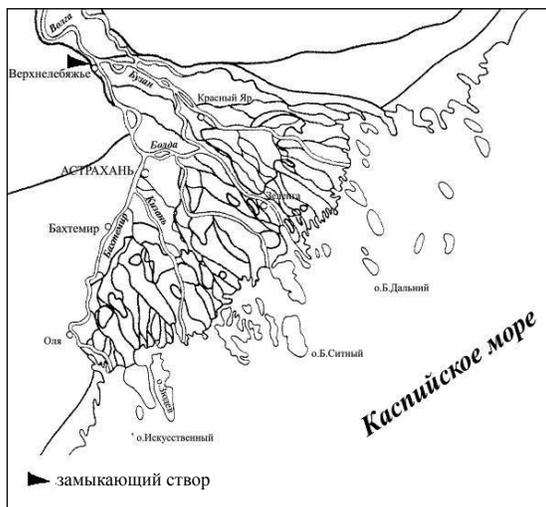


Рис. 10. Устьевая область р. Волга [Полонский, 1995]

воздействию стока реки. Акватория, непосредственно прилегающая к дельте, которую можно назвать собственно устьевым взморьем, занимает площадь 108 000 км² [Михайлов, 19976].

За период естественного гидрологического режима реки (до 1955 г.) годовой сток в вершине дельты в среднем составлял 243 км³, далее в период наполнения крупных водохранилищ он несколько снизился. Но главное следствие зарегулирования стока – это уменьшение объемов половодья и изменение его сроков. Ранее в многоводные месяцы (апрель-июнь) проходило 50–52 % годового водного стока, после создания водохранилищ значение уменьшилось до 40 % [Михайлов, 19976].

Распределение водного стока по рукавам неравномерное и зависит от колебания стока самой реки. По расчетам Полонского В.Ф., Горелиц О.В. и др. [Полонский, Байгин, 1986; Горелиц, 1990, 1994; Полонский, 1995; Михайлов, 19976], со снижением расхода воды в вершине дельты в течение года (от половодья к межени) доля стока рукавов Большая Болда и Рычан уменьшается, что является признаком к их отмиранию. Рукав Бахтемир,

наоборот, при снижении водности реки увеличивает свою долю стока, что служит признаком к его активации. Рук. Старая Волга уменьшает свою долю стока лишь при малой водности реки, доля стока рук. Камызяк мало изменяется в течение года. С ростом водности р. Волга резко возрастает сток поймы и р. Ахтуба.

Устьевая область р. Дон относится к типу непривливной устьевой области с многорукавной дельтой выполнения залива и отмелым полузакрытым устьевым взморьем. Она включает устьевой участок реки – от станции Раздорская до вершины дельты (места ответвления рукава Мертвый Донец в 41 км от моря), саму дельту площадью 538 км² и Таганрогский залив Азовского моря. Площадь устьевой области около 6000 км², протяженность 300 км, из которых 140 км – Таганрогский залив [Михайлов, 1997б] (рис. 11).

Верхней границей устьевой области (замыкающий створ) является створ у станции Раздорская (151 км от устья), дальше которого нагонные колебания уровня моря не распространяются,

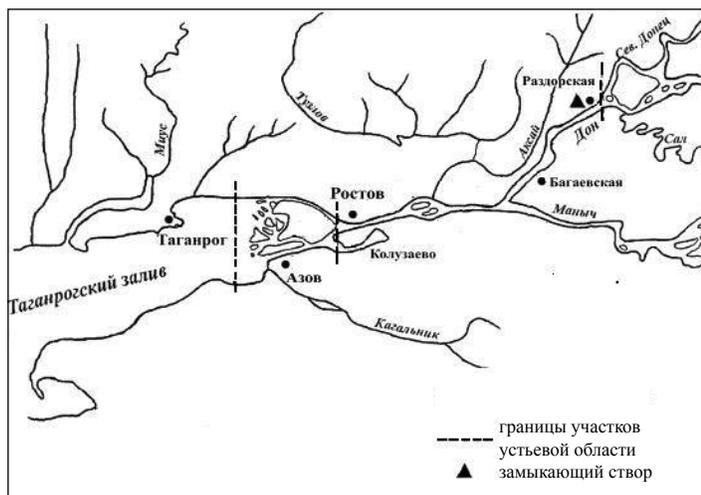


Рис. 11. Устьевая область р. Дон [Гарькуша, Федоров, 2010]

нижней (морской) границей – линия, соединяющая Белосарайскую и Долгую косы в Таганрогском заливе [Михайлов, 1997б; Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

Дельта Дона представляет собой аккумулятивное образование треугольной формы, на поверхности которого среди собственных отложений пролагают путь к морю многочисленные русловые протоки.

Современная гидрографическая сеть устьевой области представлена естественными (рукава, протоки, ерики) и искусственными водотоками в дельте. По морфологическому строению она делится на верхнюю и нижнюю (приморскую) зоны. Правобережная часть верхней зоны представляет собой район с почти отмершей сетью внутридельтовых водотоков (ериков).

Левобережная часть характеризуется устойчивой системой транзитных водотоков и отмиранием внутридельтовых водотоков. Всего в дельте насчитывается 68 водотоков общей протяженностью 225 км. Площадь их водного зеркала 57,5 км² (около 11 % площади дельты). Выше г. Азов река Дон разделяется на два главных рукава дельты: Большая Каланча (около двух третей стока) и Старый Дон (около одной трети стока р. Дон) [Симов, 1989; Михайлов, 1997б].

Рукав Большая Каланча разделяется ниже по течению на два крупных водотока: Большая Кутерьма (около половины стока р. Дон) и Мокрая Каланча. Основным продолжением рукава Старый Дон является рукав Песчаный. Основные водотоки дельты сопрягаются на ее морском крае с поддерживаемыми в прошлом или в настоящем судоходными каналами.

Река Дон относится к рекам с восточно-европейским типом водного режима (с ярко выраженным весенним половодьем и низкой летне-осенней меженью). Питание реки смешанное с преобладанием снегового (67 % стока), доля подземного питания составляет порядка 30 %, дождевого – лишь около 3 % [Лурье, Панов, 1999].

До зарегулирования стока реки Цимлянским водохранилищем средний годовой сток у ст. Раздорская составлял 27,5 км³, а после зарегулирования стока (1952–1985 гг.) его значение уменьшилось до 21,5 км³. Произошло и существенное перерас-

пределение водного стока в течение года: доля весеннего стока (март-май) уменьшилась с 69 до 38 %, а доля летнего, осеннего и зимнего – увеличилась соответственно с 15, 7, 9 % до 24, 21 и 17 %. Сток взвешенных наносов сократился еще существеннее после зарегулирования реки: с 4,66 до 2,02 млн т/год [Михайлов, 1997б].

Естественный суммарный сток Дона в устье составляет 29,5 км³. Регулирование стока повлияло не только на его величину годового объема (среднегодовой сток составляет порядка 22 км³), но и на внутригодовое распределение. Сток реки в течение года стал более равномерным [Сорокина и др., 2006].

Устьевая область р. Кубань относится к дельтовому типу с многорукавной дельтой выдвигения и открытым взморьем [Михайлов, 1997б]. За начало дельты р. Кубань принимается место, где в Раздорском узле, расположенном на 116 км от устья, река делится на два рукава – Кубань и Проток (рис. 12). Главным рукавом является Кубань, длина которой 117,5 км, длина Протоки – 133,3 км [Лурье и др., 2005]. Морская граница дельты проходит в 3–4 км от морского края дельты и в целом зависит от размеров опресненных зон. Северная граница дельты проходит по линии вершина дельты – Ахтарский лиман, а южная – вершина дельты – лиман Витязевский. Площадь дельты в вышеуказанных границах 4190 км², площадь устьевого взморья – 110 км² [Симов, 1989; Михайлов, 1997б].

В пределах дельты, особенно в ее приморской части, находится множество (около 240) озеровидных водоемов, называемых лиманами. Кубанские лиманы, общей площадью 1250 км², являются характерной особенностью дельты и ее природным богатством [Лурье и др., 2005].

Река Кубань характеризуется тянь-шаньским типом водного режима, имеет смешанное питание и длительное весенне-летнее половодье, формирующееся за счет дождей и таяния высокогорных снегов и ледников [Сорокина и др., 2006].

Условно естественный сток реки в устье составляет около 12,9 км³ в год [Симов, 1958]. Сток в устье уменьшился после зарегулирования реки до 9,5 км³/год. Распределение стока между



Рис. 12. Устьевая область р. Кубань [Сорокина и др., 2006]

рукавами дельты постоянно менялось, но в настоящее время основными направлениями стока вод Кубани являются рукав собственно Кубань и рукав Протока (примерно по 50 % стока) [Михайлов, 19976].

Внутригодовое распределение стока реки неравномерно: на период с апреля по август приходится 62 % стока, на осенний период – 10 %, на зимне-весенний (до апреля) – 28 %. Зарегулирование стока реки отразилось как на величине его годового объема (среднегодовой сток составляет порядка 11,8 км³), так и на внутригодовом распределении (сток реки стал более равномерным) [Сорокина и др., 2006].

1.4. Реки Дальнего Востока

Устьевая область р. Амур является эстуарно-дельтовой системой и занимает часть нижнего течения р. Амур длиной 238 км и часть приемного водоема – Амурский лиман и прилегающие части Охотского и Японского морей (рис. 13). Она представляет собой сложную и уникальную во многих отношениях природную систему: река с большим стоком, впадающая в мелководный залив, принадлежащая одновременно двум приливным морям – Охотскому и Японскому [Эстуарно-дельтовые системы ... 2007].

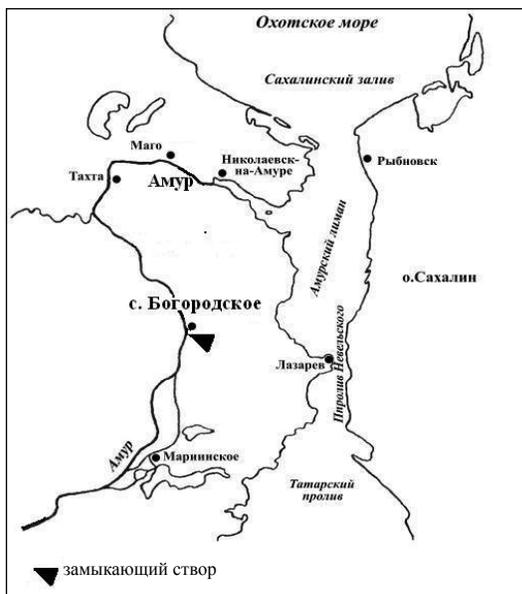


Рис. 13. Устьевая область р. Амур [Михайлов, 1997б]

Зона смешения морских и речных вод расположена в пределах устьевой области реки, включающей устьевой участок реки от вершины устья (с. Богородское) до морского побережья с входным створом в лиман (м. Табах – м. Пронге) и устьевое взморье, состоящее из Амурского лимана с двумя выходами: в Охотское море по створу п. Рыбновск – о. Байдуков и в Японское море по створу м. Прогиби – м. Лазарев. К устьевому взморью относятся также прилегающие участки Сахалинского залива на севере и Татарского пролива на юге [Лобанова, 1987].

Одной из особенностей этого устья реки является относительно слабое развитие надводной (субаэральной) дельты. В современных условиях р. Амур наиболее интенсивно формирует субквальную (подводную) дельту, рукава и фарватеры Амурского лимана [Михайлов, 1997б].

Вершина устьевой области находится между с. Богородское (238 км от устьевое створа) и с. Мариинское (326 км). Длина устьевое участка равна 270 км.

Устьевая область р. Амур имеет хорошо развитую гидрографическую сеть. Из крупных притоков в пределах устьевой области следует отметить в 150 км от устья крупный левый приток – р. Амгунь с сильно разветвленным руслом. На территории имеется несколько крупных озер, много малых озер, расположенных в пойме р. Амур, суммарная площадь всех озер составляет 305 км² [Михайлов, 19976].

Река Амур имеет высокое половодье в теплую часть года. Основным источником питания – муссонные дожди в летний период. Среднемноголетний водный сток у с. Богородское составляет 324 км³, а с учетом боковой приточности при впадении в Амурский лиман река имеет средний сток 355 км³/год. Внутригодовое распределение стока крайне неравномерно: на теплый период (май-октябрь) приходится около 90 % годового стока реки [Михайлов, 19976].

Устьевая область р. Камчатка состоит из небольшой блокированной дельты и открытого приглубого устьевого взморья. Перед впадением в Камчатский залив р. Камчатка образует характерный тип однорукавного волноприбойного устья. В состав дельты входит русло реки и многочисленные разновозрастные песчаные валы и лагуны-озера (рис. 14). Устьевой участок реки короткий – всего 10–12 км; только на это расстояние распространяются приливы и нагоны. Глубина в реке 5–6 м, естественная глубина на बारे в малую воду 0,4 м [Михайлов, 19976].

Характерно, что на правобережье устьевого участка реки расположено множество длинных и узких заливчиков, отделенных один от другого песчаными косами, называемыми «кошками». Эти песчаные косы сформировались под влиянием вдольберегового потока морских наносов в условиях преобладания штормов того или иного направления. По мере роста косы в западном направлении удлиняется и устьевой участок реки. Поэтому отметка уровня реки в районе пос. Усть-Камчатск и оз. Нерпичье повышаются, а следовательно, увеличивается перепад уровня на участке Усть-Камчатск – море. В таких условиях во время высокого половодья река прорывает косу у ее основания и прокладывает кратчайший путь к морю [Михайлов, 19976].

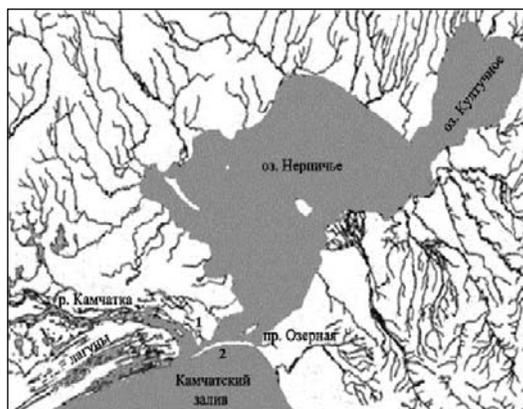


Рис. 14. Устьевая область р. Камчатка [Лепская, 2014]
(1 – г. Усть-Камчатск, 2 – коса Таракановка)

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 2

Одним из основных путей поступления растворенных химических веществ в устьевые области является речной перенос. Крупные реки собирают воду и взвешенные вещества с огромных водосборных площадей, связанных с различными видами хозяйственной деятельности, и транспортируют их далее вниз по течению до замыкающих створов [Никаноров и др., 2007а; Никаноров, Брызгалo, 2010; Никаноров и др., 2010а, б, 2011а–в].

Устьевые области рек – это конечное звено речных систем, на верхней (речной) границе которых потоки вещества различной природы в наиболее полной мере характеризуют их водосборы с точки зрения формирования всех составляющих речного стока [Михайлов, 1997б; Михайлов, 2004; Михайлов, Горин, 2012]. Это обстоятельство является решающим фактором, в соответствии с которым один из гидрологических постов режимных наблюдений размещается на верхней границе устьевой области реки. Полученная информация в основном оказывается достаточной для решения многих задач, связанных с изучением гидрологического и гидрохимического режимов устьевых экосистем и оценкой изменчивости их состояния [Алексеевский, Айбулатов, 2013].

Компонентный состав стока растворенных химических веществ формируется под влиянием таких факторов, как [Бреховских и др., 2003; Брызгалo, Иванов, 1999, 2000, 2002, 2003; Никаноров и др., 2007а; Никаноров, Брызгалo, 2010; Никаноров и др., 2010а, 2011а] характер местного и регионального, в том числе трансграничного, распространения загрязняющих веществ; сорбция загрязняющих веществ речным льдом из атмосферы и самой реки в течение ледостава; биоаккумуляция многих загрязняющих веществ и вовлечение их в пищевые цепи биоценозов и т.д.

Суммарный эффект перечисленных выше факторов находит свое отражение по всей длине рек. Поэтому речной перенос следует рассматривать как источник не только локального, но и регионального распространения загрязняющих веществ, которые в настоящее время являются определяющим фактором изменчивости гидрохимического режима как низовьев и устьев рек, так и эстуариев и прибрежных частей морских акваторий.

При выборе объектов исследования исходили из необходимости максимально полного охвата региональных особенностей формирования природного режима устьевых экосистем крупных рек, находящихся в различных регионах России. Поэтому в программу исследования включены такие реки, как Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Пур, Таз, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, Кубань, Амур и Камчатка, расположенные в различных природно-климатических условиях и испытывающие различную по уровню и характеру антропогенную нагрузку. Основные гидрологические характеристики этих рек представлены в таблице 2.

В качестве исходного массива данных взята режимная многолетняя гидрологическая, гидрохимическая и гидробиологическая информация ГСН [Государственный водный кадастр, 1981–2013; Ежегодники качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям ... 1981–2013; Ежегодники качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям ... 1981–2013], полученная с использованием единых, принятых в Росгидромете, методов отбора и анализа проб воды [РД 52.24.309-2011]. Период наблюдений и перечень показателей, используемых в исследовании, для замыкающих створов рек приведены в таблице 3. Экологически значимыми приняты вариационные ряды, включающие не менее 15–20 лет наблюдений по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Систематичность и достаточная продолжительность режимных наблюдений на сети ГСН обеспечивают полноту и достоверность используемой информации, что позволяет провести оценку меж- и внутригодовой изменчивости компонентного состава водной среды и притока растворенных химических веществ на

замыкающие створы рек, а также уровня антропогенной нагрузки на их устьевые экосистемы.

Таблица 2

Гидрологическая характеристика крупных рек России на замыкающих створах [Государственный водный кадастр, 1981–2013; Ежегодники качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям ... 1981–2013; Водные ресурсы России ... 2008]

Река	Общая площадь водосбора, тыс. км ²	Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, тыс. км ²	Среднегодовой сток в устье, км ³
Европейский Север					
Онега	56,9	с. Порог	31	55,7	15,8
Северная Двина	357	с. Усть-Пинега	137	348	105
Печора	322	д. Оксино	141	312	139
Сибирь					
Обь	2990	г. Салехард	287	2953	410
Пур	112	пос. Самбург	86	95,1	28,4
Таз	150	пос. Сидоровск	259	100	33,0
Енисей	2580	г. Игарка	697	2440	609
Лена	2490	с. Кюсюр	211	2430	538
Яна	238	п.ст. Юбилейная	157	224	37,5
Индиگیرка	360	пос. Чокурдах	183	287	57,7
Колыма	647	г. Средне-колымск	641	361	64,7
Юг России					
Волга	1360	с. Верхнее Лебяжье	156	1360	259
Дон	422	ст. Раздорская	151	378	29,5
Кубань	57,9	х. Тиховский	111	49,0	13,5
Дальний Восток					
Амур	1885	с. Богородское	238	1790	343
Камчатка	55,9	г. Ключи	129	45,6	24,3

Таблица 3

Период наблюдений и перечень основных используемых показателей

Река	Замыкающий створ	Период наблюдений по показателям:			Перечень показателей
		водный сток	гидрохимическим	гидробиологическим	
<i>Европейский Север</i>					
Онега	с. Порог	1980–1995*	1980–2012	нет наблюдений	Основные гидрохимические: – хлориды, – сульфаты, – азот аммонийный, – азот нитритный, – азот нитратный, – фосфор фосфатный, – кремнекислота, – легкоокисляемые органические вещества (по БПК ₅), – фенолы, – нефтяные углеводороды, – соединения железа, – соединения меди, – соединения цинка, – соединения никеля.
Северная Двина	с. Усть-Пинега	1980–2010	1980–2012	нет наблюдений	
Печора	с. Оксина	1980–2010	1980–2012	1991–1994, 1997–2000	
<i>Сибирь</i>					
Обь	г. Салехард	1980–2010	1980–2012	нет наблюдений	Гидробиологические: количественные и качественные показатели развития бактерио-, фито- и зоопланктона, макрозообентоса.
Пур	г. Самбург	1980–1998*	1980–1992 1999–2012	нет наблюдений	
Таз	пос. Тазовский	1980–1998*	1980–2012	нет наблюдений	
Енисей	г. Игарка	1980–2009	1980–2012	нет наблюдений	
Лена	с. Кюсюр	1980–2010	1980–2012	1980–2010	
Яна	п.ст Юбилейная	1980–2010	1980–2012	1980–2010	
Инди-гирка	п. Чокурдах	1980–1996* 2004–2009	1980–2012	нет наблюдений	
Колыма	г. Среднеколымск	1980–2007*	1983–2012	нет наблюдений	
	с. Колымское	1983–2007	1983–2012	1982–1993	
<i>Юг России</i>					
Волга	с. Верхнее Лебяжье	1980–2010	1980–2012	1984–2010	
Дон	ст. Раздорская	1993–2010	1984–2012	нет наблюдений	
	г. Ростов-на-Дону	1993–2010	1980–2012	1983–2010	
Кубань	х. Тиховский	1982–2005	1980–2012	качественные пробы	
<i>Дальний Восток</i>					
Амур	с. Богородское	1990–2010	1985–2012	1990–1996 2000–2010	
	г. Николаевск-на-Амуре	1990–2010	1985–2012	1990–1996 2000–2010	
Камчатка	г. Ключи	1985–2010	1986–2010	нет наблюдений	

Примечание: * в те года, когда отсутствуют данные по водному стоку, расчет объемов притока растворенных химических веществ проводился по среднемноголетним значениям.

Методика исследований включала в себя следующие этапы:

1. Оценка региональных особенностей изменчивости компонентного состава водной среды.

Компонентный состав водной среды рассматривали по основным гидрохимическим показателям – главные ионы, биогенные вещества, фенолы, нефтяные углеводороды, соединения тяжелых металлов и др. Оценка изменчивости компонентного состава водной среды проведена по таким характеристикам, как общий диапазон изменения концентрации химических веществ, модальный интервал значений концентраций (интервалов наиболее часто встречаемых значений (НЧВЗ)), кратность превышения ПДК по максимальным значениям концентраций как по общему диапазону, так и модальному.

2. Расчет объемов притока растворенных химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек.

Проведен на основе обобщения многолетней режимной гидрологической и гидрохимической информации по пространственной, межгодовой и внутригодовой изменчивости концентраций растворенных химических веществ и значениям водного стока [Государственный водный кадастр, 1981–2013, Ежегодники качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям ... 1981–2013].

По длине реки происходит физико-химическая и биологическая трансформация компонентного состава водной среды, суммарный эффект которой проявляется к устью реки. Поэтому расчет притока растворенных химических веществ в устьевые области и оценка его изменчивости проведены по замыкающим створам [Никаноров и др., 2007а; Никаноров и Брызгало, 2010; Никаноров и др., 2010а].

Количественная оценка притока растворенных веществ на замыкающие створы рек проводится прямым методом по формуле [Методические рекомендации ... 1990; Никаноров и др., 2007а; Никаноров и др., 2010а]:

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \cdot \bar{C}_i, \quad (1)$$

где G – количество вещества, перенесенного за расчетный период, тыс. т;

m – число интервалов расчетного периода;

W_i – объем стока воды за i -тый интервал расчетного периода, км³;

\bar{C}_i – средняя концентрация вещества за i -тый интервал расчетного периода, мг/дм³.

Прямой метод расчета применяют при наличии данных наблюдений по гидрохимическим и гидрологическим показателям и тесной связи между концентрацией вещества в воде и расходом воды.

При расчете значений объемов притока растворенных химических веществ может быть использована информация, приуроченная к месяцу, сезону, году, многолетнему периоду. Значимыми для оценки природной и антропогенной изменчивости притока растворенных химических веществ принимались вариационные ряды не менее 10–15 лет режимных наблюдений с внутрigoдовой частотой отбора проб не менее 6–12 раз.

3. Оценка пространственной изменчивости притока растворенных химических веществ и антропогенной нагрузки на замыкающих створах рек.

В силу значительного различия водосборов исследуемых рек по площадям и объемам водного стока для сравнительной оценки изменчивости притока растворенных химических веществ использовали модуль притока (отношение среднегодовых значений притока к площади водосбора (т/км² в год)).

Оценка антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы проведена по модулю притока легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), азота аммонийного и нефтяных углеводородов. Изменение содержания вышеперечисленных веществ в водной среде оказывает негативное воздействие, способное вызвать нарушение структурно-функциональных характеристик сообществ водных организмов и ухудшение состояния экосисте-

мы в целом. Критерии оценки антропогенной нагрузки по модулю притока химических веществ представлены в таблице 4.

Таблица 4

Классификатор оценки антропогенной нагрузки по модулю притока растворенных химических веществ [Р 52.24.776-2012]

Антропогенная нагрузка	Диапазон значений модуля притока, превышающих верхнюю границу модального интервала, т/км ² в год		
	азота аммонийного	легкоокисляемых органических веществ по БПК ₅	нефтепродуктов (нефтяных углеводов)
Малая	До 0,05	До 0,50	До 0,05
Умеренная	От 0,06 до 0,1 включ.	От 0,51 до 1,0 включ.	От 0,05 до 0,1 включ.
Критическая	От 0,1 до 0,2 включ.	От 1,0 до 1,5 включ.	От 0,1 до 0,3 включ.
Высокая	От 0,2 до 0,3 включ.	От 1,5 до 2,0 включ.	От 0,3 до 0,5 включ.
Очень высокая	От 0,3 до 0,6 включ.	От 2,0 до 3,0 включ.	От 0,5 до 1,0 включ.
Экстремальная	Св. 0,6	Св. 3,0	Св. 1,0

4. Оценка изменчивости состояния устьевых экосистем по гидрохимическим показателям.

Проведена на основе ретроспективного анализа многолетней режимной гидрохимической информации по изменчивости степени загрязненности и компонентного состава водной среды устьевых экосистем.

Степень загрязненности водной среды определяют по методу комплексной оценки, который позволяет скалярной величиной оценить загрязненность одновременно по широкому перечню наиболее регулярно определяемых ингредиентов и показателей качества воды [РД 52.24.643].

Учитывая интенсивность антропогенного воздействия и характер изменчивости абиотических и биотических параметров, состояние водных экосистем условно принято делить на [Р 52.24.661-2004; Р 52.24.776-2012]:

– естественное – не нарушенное антропогенным воздействием;

– равновесное – скорость внутриводных биохимических процессов восстановления экосистемы превышает темпы антропогенных нарушений;

– кризисное – скорость внутриводных биохимических процессов восстановления экосистемы ниже темпов антропогенных нарушений;

– критическое – обратимая замена природных экологических систем на измененные по трофности, сапробности и биологической продуктивности пресноводные экосистемы;

– катастрофическое – необратимый процесс перехода пресноводных экосистем в новое состояние по трофности, сапробности и биологической продуктивности.

Многолетние исследования авторов показали обоснованность проведения оценки изменчивости состояния водных экосистем по таким интегральным гидрохимическим показателям, как растворенный в воде кислород, легкоокисляемые органические вещества ЛООВ (по БПК₅) и азот аммонийный, и позволили разработать классификатор оценки состояния водных экосистем. Классификатор состояния водных экосистем приведен в таблице 5.

Таблица 5

Классификатор состояния водных экосистем [Р 52.24.661-2004; Р 52.24.776-2012]

Состояние экосистемы	Диапазоны модальных интервалов значений массовых концентраций, мг/дм ³		
	минимальных значений растворенного кислорода	ЛООВ по БПК ₅	азота аммонийного
Естественное	Св. 6,0	От 0,5 до 1,0 включ.	Менее 0,1
Равновесное	От 4,0 до 6,0 включ.	От 1,0 до 2,0 включ.	От 0,1 до 0,5 включ.
Кризисное	От 2,0 до 4,0 включ.	От 2,0 до 4,0 включ.	От 0,5 до 1,0 включ.
Критическое	От 1,0 до 2,0 включ.	От 4,0 до 7,0 включ.	От 1,0 до 3,0 включ.
Катастрофическое	Менее 1,0	Св. 7,0	Св. 3,0

5. Оценка изменчивости состояния устьевых экосистем по гидробиологическим показателям.

Проведена на основе анализа многолетней гидробиологической информации об уровне развития планктонных и бентосных сообществ водных организмов.

Данный этап исследования включает:

– определение эффекта антропогенного воздействия на биотическую компоненту водной экосистемы и выявление направленности одного из внутрисистемных процессов (антропогенного эвтрофирования либо экологического регресса гидробиоценозов);

– оценку уровня преобладающего внутрисистемного процесса и состояния водных экосистем по гидробиологическим показателям.

Оценка эффекта антропогенного воздействия базируется на изучении пространственно-временного распределения общей численности фитопланктона. Проводится статистическая обработка гидробиологических данных и рассчитывается относительная плотность распределения Π_o и мода M_o по формулам (2) и (3):

$$\Pi_o = \frac{W}{K} , \quad (2)$$

где W – частота, т.е. доля того или иного интервала в сумме всех частот, %;
 K – величина интервала.

$$M_o = \chi_{M_{\min}} + K \frac{W_{M_o} - W_{M_o-1}}{(W_{M_o} - W_{M_o-1}) + (W_{M_o} - W_{M_o+1})} , \quad (3)$$

где $\chi_{M_{\min}}$ – нижняя граница модального интервала;

W_{M_o} – доля частоты модального интервала;

W_{M_o-1} – доля частоты интервала, предшествующего модальному;

W_{M_o+1} – доля частоты интервала, следующего за модальным.

Используя значения рассчитанных статистических характеристик, определяют эффект антропогенного воздействия по критериям, приведенным в таблице 6.

Таким образом, определив эффект антропогенного воздействия, мы выясняем направленность протекающих в экосистеме внутрисистемных процессов.

Таблица 6

Классификатор водных экосистем по эффекту антропогенного воздействия [Р 52.24.661-2004; Р 52.24.776-2012]

Эффект антропогенного воздействия	Статистические характеристики вариаций общей численности фитопланктона	
	Мода (M_0), тыс. кл./см ³	Относительная плотность P_0 , %
Экологический регресс	до 0,50	от 100 до 300
Элементы экологического регресса	от 0,50 до 1,5	от 50 до 100
Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	от 0,50 до 2,0	от 20 до 60
Антропогенное напряжение с элементами эвтрофирования	свыше 2,0 до 10,0	от 50 до 100
Антропогенное эвтрофирование	свыше 10,0	до 30

Далее, если преобладающим является процесс антропогенного эвтрофирования, то его уровень оценивают по характеристикам развития фитопланктонных сообществ согласно РД 52.24.520. Классификатор водных экосистем по уровню антропогенного эвтрофирования представлен в таблице 7.

Если же в экосистеме усиливается антропогенный экологический регресс, то уровень процесса оценивают по совокупности статистических характеристик развития сообществ водных организмов: бактерио-, фито-, зоопланктона или макрозообентоса. Критерии, по которым оценивается уровень экологического

регресса в экосистеме, приведены в таблице 8. Окончательный вывод об уровне экологического регресса делают по совокупности оценок.

Экологическое состояние устьевых экосистем от «естественного» до «катастрофического» оценивали по показателям структурной организации и уровню развития планктонных и бентосных сообществ водных организмов по критериям, представленным в таблице 9 [Р 52.24.661-2004; Р 52.24.776-2012].

Таблица 7

Классификатор водных экосистем по уровню антропогенного эвтрофирования [Р 52.24.661-2004; РД 52.24.620-2000]

Статистические характеристики развития фитопланктонного сообщества	Уровень эвтрофирования		
	низкий	средний	высокий
Мода модального интервала общей численности $M_{оч}$, тыс. кл./мл	2,0–10,0	2,0–20,0	10,0–40,0
Мода модального интервала общего числа видов $M_{об}$, тыс. кл./мл	20–30	10–20	10–25
Мода модального интервала относительной численности доминирующего вида $M_{од}$, %	30–50	50–100	20–70
Мода модального интервала относительной численности группы сине-зеленых водорослей весной $M_{oc-з}$, %	до 5	30–50	40–60

Таблица 8

Классификация водных экосистем по уровню экологического регресса [Р 52.24.661 - 2004;
РД 52.24.633-2002]

Класс водных экосистем	Уровень экологического регресса	Модальный интервал вариационных рядов					общей численности фитопланктона, тыс. кл./мл
		общей численности бактериопланктона, млн. кл./мл	общей численности макрозообентоса, тыс. экз./м ²	относительной численности групп олигохет, %	числа видов фитоперифитона	относительной численности коловраток в зоопланктонном сообществе, %	
I	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	От 0,3 до 1,0	От 1 до 8,5	От 30 до 98	От 15 до 45	До 30	Нет ограничений
II	Элементы экологического регресса	От 1,1 до 5,0	От 0,10 до 30,0	От 50 до 100	От 10 до 20	От 25 до 90	От 0,10 до 50
III	Экологический регресс	От 5,1 до 15,0	От 0,01 до 10,0	От 70 до 100	От 5 до 20	От 70 до 100	От 0,01 до 0,70
IV	Метаболический регресс	Свыше 15,0	Гибель зообентоса, в пробах присутствуют хитиновые остатки насекомых, ракообразных и раковины моллюсков	Слабое развитие личинок олигохет и хирономид	Отдельные виды или полная гибель водорослей. Обрастания состоят в основном из бактерий и бесцветных жгутиков	Частичная или полная гибель	Частичная или полная гибель

Таблица 9
Критерии изменчивости состояния устьевых экосистем по биотическим параметрам [Р 52.24.661-2004, Р 52.24.776-2012]

Состояние экосистемы	Антропогенное эвтрофирование (по показателям развития фитопланктона)		Экологический регресс				
	Число видов	Относительная численность доминирующего вида, %	Кратность превышения* аномально высоких значений численности	Общая численность бактериопланктона, млн кл./мл	Относительная численность олигохет, %	Число видов топерифитона	Общая численность фитопланктона, тыс. кл./мл
Естественное	>20-30	<30	<5	<1,0	0-10	30-50	Нет ограничений
Равновесное	20-30	30-50	<50	1,0-4,0	11-30	20-50	Нет ограничений
Кризисное	10-20	30-50	>50	4,0-20,0	31-98	15-45	0,10-5,0
Критическое	<10-20	50-70	50-200	20,0-40,0	50-100	10-20	0,01-0,70
Катастрофическое	<10	>70	10-300	40,0	70-100	<10	Частичная или полная гибель

Примечание: * Превышение от максимальных наиболее часто встречаемых значений.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ

Глава 3

Изменчивость компонентного состава водной среды устьевых экосистем рек может быть обусловлена как региональными специфическими гидролого-морфометрическими и гидрохимическими особенностями их формирования, так и различным по характеру и степени антропогенным воздействием.

3.1. Реки Европейского Севера

В условиях происходящих глобальных изменений в окружающей среде антропогенное воздействие усиливает изменчивость компонентного состава водной среды и гидрохимического режима рек и способствует повышению содержания в водной среде устьевых экосистем отдельных химических их веществ. Характеристикой таких изменений могут служить колебания значений концентраций многолетних вариационных рядов гидрохимических показателей внутри модального интервала [Никаноров и др., 2007б].

Результаты расчета и анализа модальных интервалов концентраций химических веществ показали, что верхние их значения менялись на замыкающих створах исследуемых рек по (табл. 10):

- сульфатам от 7,10 мг/дм³ (р. Печора) до 89,6 мг/дм³ (р. Северная Двина);
- легкоокисляемым органическим соединениям от 1,59 мг/дм³ (р. Онега) до 2,44 мг/дм³ (р. Северная Двина);
- азоту аммонийному от 0,06 мг/дм³ (р. Печора) до 0,10 мг/дм³ (р. Онега);
- фенолам от н.о. (р. Печора) до 3,0 мг/дм³ (р. Северная Двина);

– соединениям железа от 0,51 мг/дм³ (р. Северная Двина) до 0,96 мг/дм³ (р. Печора);

– соединениям меди от 0,003 мг/дм³ (р. Печора) до 0,005 мг/дм³ (р. Северная Двина).

Таблица 10

Компонентный состав водной среды на устьевых участках рек Европейского Севера

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/дм ³					
	р. Онега, с. Порог		р. Северная Двина, с. Усть-Пинега		р. Печора, с. Оксино	
	общий	модальный	общий	модальный	общий	модальный
Хлориды	1,00–14,5	1,00–5,80 (66)*	1,30–23,3	2,10–13,9 (80)	1,00–38,5	1,00–4,90 (63)
Сульфаты	7,70–99,4	7,70–45,2 (70)	7,40–101	11,5–89,6 (90)	1,00–51,5	1,00–7,10 (52)
ЛООВ (по БПК ₅)	0,05–4,05	0,31–1,59 (68)	0,51–5,85	1,19–2,11 (40)	0,48–6,83	0,48–2,44 (65)
Азот аммонийный	н.о.**–0,53	н.о.–0,10 (70)	н.о.–0,58	н.о.–0,08 (71)	н.о.–0,53	н.о.–0,06 (53)
Азот нитритный	н.о.–0,006	н.о.–0,001 (72)	н.о.–0,031	н.о.–0,005 (97)	н.о.–0,050	н.о.–0,006 (80)
Азот нитратный	н.о.–0,42	н.о.–0,12 (66)	н.о.–0,54	н.о.–0,14 (70)	н.о.–0,42	н.о.–0,10 (78)
Фосфор фосфатный	нет данных		н.о.–0,072	н.о.–0,020 (75)	н.о.–0,140	0,031–0,031 (78)
Кремнекислота	0,10–4,50	1,00–3,00 (65)	0,70–5,80	1,30–2,40 (39)	0,40–6,70	1,00–2,90 (57)
Фенолы	н.о.–0,012	н.о.–0,002 (90)	н.о.–0,028	н.о.–0,003 (78)	н.о.–0,033	н.о.(90)
Нефтяные углеводороды	н.о.–0,65	н.о.–0,06 (85)	н.о.–0,52	н.о.–0,06 (92)	н.о.–3,40	н.о.–0,05 (88)
Соединения железа	0,10–0,90	0,20–0,56 (70)	0,01–0,84	0,18–0,51 (64)	0,005–2,90	0,30–0,96 (67)
Соединения меди	н.о.–0,028	н.о.–0,004 (72)	н.о.–0,013	0,001–0,005 (80)	н.о.–0,019	н.о.–0,003 (56)

Окончание таблицы 10

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/дм ³					
	р. Онега, с. Порог		р. Северная Двина, с. Усть-Пинега		р. Печора, с. Оксино	
	общий	модаль- ный	общий	модаль- ный	общий	модаль- ный
Соединения цинка	н.о.–0,120	н.о.–0,018 (55)	н.о.–0,120	0,004– 0,019 (73)	н.о.–0,164	0,003–0,020 (50)
Соединения никеля	н.о.–0,045	н.о.–0,003 (85)	н.о.–0,009	0,001– 0,003 (55)	н.о.–0,053	н.о.–0,007 (88)

Примечание: * в скобках – частость, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

Наиболее значительные различия максимальных значений общего и модального диапазонов отмечены по (табл. 10):

– фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям меди и цинка для устьевого участка реки Онега;

– фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям цинка для устьевого участка реки Северная Двина;

– хлоридам, сульфатам, фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям цинка и никеля для устьевого участка реки Печора.

В то же время верхние границы модальных интервалов значений концентраций незначительно превышают ПДК по фенолам (2,0–3,0 ПДК), соединениям цинка (1,9–2,0 ПДК). По соединениям меди и железа превышение достигает 3,0–5,0 и 5,1–9,6 ПДК соответственно.

Содержание минеральных форм азота и фосфора в устьевых экосистемах рек Европейского Севера как по общим диапазонам, так и модальным достаточно низки.

На фоне наблюдаемой изменчивости компонентного состава водной среды возможно нарушение гидрохимического режима в устьевых экосистемах. Как показано нами ранее [Брызгалов, Иванов, 1999; Никаноров и др., 2007а; Никаноров и др., 2010б, 2011б, Никаноров и др., 2012], это проявляется, прежде всего,

в нарушении естественной сезонной динамики содержания в водных объектах азот- и фосфорсодержащих соединений, которая в естественных природных условиях обычно характеризуется уменьшением их концентрации летом и увеличением в осенний и зимний периоды.

Можно предположить, что основной причиной нарушения естественной внутригодовой сезонной изменчивости может быть сдвиг равновесия между процессами минерализации органического вещества и потребления биотой минеральных форм азота и фосфора, а также возможное поступление биогенных элементов со сточными водами и поверхностным стоком. Последнее особенно усиливается в условиях дефицита в водной среде растворенного кислорода [Брызгалов, Иванов, 1999; Никаноров и др., 2007а].

3.2. Реки Сибири

Региональные особенности изменчивости компонентного состава водной среды устьевых экосистем крупных рек Сибири рассмотрены по бассейнам морей:

– Карского – рр. Обь, Пур, Таз, Енисей;

– Лаптевых – рр. Лена, Яна;

– Восточно-Сибирского – рр. Индигирка и Колыма.

Для исследуемых рек бассейна **Карского моря** верхние границы модальных интервалов значительно меняются практически по всем показателям. Так наблюдается варьирование по (табл. 11):

– хлоридам от 4,30 мг/дм³ (р. Таз) до 13,1 мг/дм³ (р. Енисей);

– азоту аммонийному от 0,29 мг/дм³ (р. Енисей) до 13,6 мг/дм³ (р. Обь);

– азоту нитритному от 0,002 мг/дм³ (р. Енисей) до 0,022 мг/дм³ (р. Обь);

– соединениям железа от 0,33 мг/дм³ (р. Енисей) до 1,62 мг/дм³ (р. Пур);

– соединениям меди от 0,006 мг/дм³ (р. Таз) до 0,017 мг/дм³ (р. Пур);

– соединениям никеля от 0,001 мг/дм³ (р. Енисей) до 0,016 мг/дм³ (р. Пур).

Наиболее весомые различия в максимальных значениях общего и модалного диапазонов отмечены для рек бассейна Карского моря по азоту нитратному, фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям тяжелых металлов.

В то же время верхние границы модалных интервалов значений концентраций существенно превышают ПДК по фенолам в 4,0–6,0 раз, соединениям цинка в 2,4–8,6 раза, нефтяным углеводородам в 8,0–12,0 раз, соединениям железа в 3,3–16,2 и меди 6,0–17,0 раз (табл. 11). При этом для реки Енисей (г. Игарка) характерны как наименьший размах значений внутри модалных интервалов исследуемых гидрохимических показателей, так и наименьшая кратность превышения ПДК их верхних границ.

Для устьевых экосистем рек, впадающих в **море Лаптевых**, по результатам расчета и анализа модалных интервалов значений концентраций химических веществ можно отметить, что на замыкающих створах исследуемых рек верхние границы значительно меняются только по хлоридам от 4,80 мг/дм³ (р. Яна) до 20,9 мг/дм³ (р. Лена) и соединениям железа от 0,44 мг/дм³ (р. Лена) до 0,90 мг/дм³ (р. Яна) (табл. 12). По остальным ингредиентам максимальные значения модалных интервалов близки.

Наиболее значительные различия максимальных значений общего и модалного диапазонов отмечены для устьевых участков рек по (табл. 12):

- фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям меди – р. Лена;
- сульфатам, азоту аммонийному, фенолам и нефтяным углеводородам – р. Яна.

При сравнении верхних границы модалных интервалов значений концентраций с критериями ПДК наблюдается превышение по нефтяным углеводородам в 1,2 раза, фенолам в 3,0–4,0 раза, соединениям меди в 3,0–5,0 раз, соединениям железа – превышение достигает 4,4–9,0 раз.

Таблица 11
Компонентный состав водной среды на устьевых участках рек бассейна Карского моря

Ингредиент	Диапазон колебания концентраций, мг/дм ³											
	р. Обь, г. Салехард		р. Пур, г. Самбург		р. Газ, пгт Газовский		р. Енисей, г. Игарка					
	общий	модальный	общий	модальный	общий	модальный	общий	модальный	общий	модальный	общий	модальный
Хлориды	0,60–17,3	3,90–10,3 (36)*	0,40–49,0	0,40–6,20 (80)	0,30–13,8	2,40–4,30 (44)	3,10–26,2	3,10–13,1 (75)				
Сульфаты	1,10–43,7	1,10–9,90 (53)	0,60–78,2	0,60–12,2 (58)	1,60–34,8	1,60–9,50 (55)	1,00–27,2	6,70–16,9 (68)				
ЛООВ по БПК ₅	0,16–8,20	0,16–1,32 (50)	1,05–3,84	1,05–1,77 (41)	0,30–6,40	2,50–3,30 (60)	0,40–5,20	0,40–1,10 (45)				
Азот аммонийный	н.о.*–3,39	н.о.–0,72 (54)	н.о.–4,10	н.о.–0,89 (64)	н.о.–2,44	0,53–1,06 (41)	н.о.–1,48	н.о.–0,29 (74)				
Азот нитритный	н.о.–0,238	н.о.–0,022 (77)	н.о.–0,120	н.о.–0,016 (92)	н.о.–0,040	н.о.–0,008 (68)	н.о.–0,029	н.о.–0,002 (77)				
Азот нитратный	н.о.–0,91	н.о.–0,14 (67)	н.о.–0,52	н.о.–0,08 (92)	н.о.–0,364	н.о.–0,060 (84)	н.о.–1,65	н.о.–0,18 (95)				
Фосфор фосфатный	0,01–0,46	0,01–0,07 (55)	0,01–0,54	0,03–0,29 (75)	0,01–0,79	0,01–0,14 (60)	н.о.–0,08	н.о.–0,02 (85)				
Кремнекислота	0,10–14,6	0,10–2,50 (46)	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	0,80–8,50	2,40–3,10 (39)				
Фенолы	н.о.–0,036	н.о.–0,005 (84)	н.о.–0,027	н.о.–0,005 (78)	н.о.–0,036	н.о.–0,006 (78)	н.о.–0,028	н.о.–0,004 (66)				
Нефтяные углеводороды	н.о.–3,08	н.о.–0,53 (60)	н.о.–2,84	н.о.–0,59 (64)	н.о.–2,57	н.о.–0,44 (60)	н.о.–4,88	н.о.–0,40 (72)				
Соединения железа	0,10–6,60	0,10–1,53 (45)	0,09–8,60	0,09–1,62 (63)	0,10–4,80	0,10–1,10 (69)	0,01–2,18	0,10–0,33 (70)				
Соединения меди	н.о.–0,055	н.о.–0,007 (79)	н.о.–0,112	н.о.–0,017 (86)	н.о.–0,028	н.о.–0,006 (75)	н.о.–0,029	н.о.–0,007 (55)				
Соединения цинка	н.о.–0,380	н.о.–0,024 (79)	н.о.–0,214	н.о.–0,037 (71)	н.о.–0,524	н.о.–0,086 (53)	н.о.–0,185	н.о.–0,029 (74)				
Соединения никеля	н.о.–0,032	н.о.–0,004 (85)	н.о.–0,148	н.о.–0,016 (92)	н.о.–0,017	н.о.–0,003 (76)	н.о.–0,004	н.о.–0,001 (72)				

Примечание: * в скобках – частотность, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

Таблица 12

Компонентный состав водной среды на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/дм ³			
	р. Лена, с. Кюсюр		р. Яна, п.ст. Юбилейная	
	общий	модальный	общий	модальный
Хлориды	1,60–90,0	1,60–20,9 (79)*	0,30–36,6	0,30–4,80 (69)
Сульфаты	0,90–67,3	0,90–14,0 (48)	2,50–103	2,50–13,9 (46)
ЛООВ по БПК ₅	0,20–7,10	1,16–2,10 (41)	0,23–11,3	1,35–2,60 (43)
Азот аммонийный	0,01–0,64	0,01–0,08 (74)	н.о.–0,68	н.о.–0,05 (82)
Азот нитритный	н.о.**–0,022	н.о.–0,006 (87)	н.о.–0,015	н.о.–0,003 (53)
Азот нитратный	н.о.–0,40	н.о.–0,06 (80)	н.о.–0,31	н.о.–0,05 (74)
Фосфор фосфатный	н.о.–0,047	н.о.–0,010 (87)	н.о.–0,040	н.о.–0,010 (83)
Кремниевая кислота	0,20–8,00	1,50–2,60 (53)	0,10–12,4	1,60–2,70 (42)
Фенолы	н.о.–0,023	н.о.–0,003 (71)	н.о.–0,030	н.о.–0,004 (78)
Нефтяные углеводороды	н.о.–0,49	н.о.–0,06 (63)	н.о.–0,45	н.о.–0,06 (65)
Соединения железа	0,01–2,07	0,01–0,44 (70)	0,03–4,82	0,03–0,90 (72)
Соединения меди	н.о.–0,030	н.о.–0,003 (51)	н.о.–0,032	н.о.–0,005 (65)
Соединения цинка	н.о.–0,059	н.о.–0,011 (67)	н.о.–0,061	н.о.–0,011 (59)
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание: * в скобках – частота, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

Сравнение верхних границ модальных интервалов значений концентраций химических веществ для устьевых экосистем рек, впадающих в **Восточно-Сибирское море**, показало, что наименьшие их значения характерны для р. Колыма по хлоридам, азоту аммонийному, фосфору фосфатному, легкоокисляемым органическим веществам и соединениям железа (табл. 13).

Наиболее значительные различия в максимальных значениях общего и модального диапазонов отмечены для устьевых участков рек по (табл. 13):

- хлоридам, фенолам и соединениям цинка – р. Индигирка;
- азоту нитритному, фосфору фосфатному, фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям меди и цинка – р. Колыма.

Незначительно превышают ПДК верхние границы модальных интервалов значений концентраций соединений меди (4,0 ПДК), фенолов (3,0–4,0 ПДК), соединений цинка (1,8–1,9 ПДК), а по соединениям железа – превышение достигает 2,0–10,0 ПДК (табл. 13).

Таблица 13

Компонентный состав водной среды на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/дм ³			
	р. Индигирка, пос. Чокурдах		р. Колыма, г. Среднеколымск	
	общий	модальный	общий	модальный
Хлориды	0,40–60,9	0,40–6,30 (90)*	0,40–6,70	0,60–1,70 (80)
Сульфаты	0,40–53,9	0,40–17,8 (75)	1,9–40,8	7,10–14,1 (44)
ЛООВ по БПК ₅	0,18–6,03	1,20–2,95 (79)	0,17–7,23	0,17–0,98 (61)
Азот аммонийный	н.о.**–1,22	н.о.–0,18 (91)	н.о.–0,34	н.о.–0,06 (72)
Азот нитритный	н.о.–0,146	н.о. (90)	н.о.–0,132	н.о.–0,007 (93)
Азот нитратный	н.о.–0,28	н.о.–0,06 (64)	н.о.–0,37	н.о.–0,05 (77)
Фосфор фосфатный	н.о.–0,184	н.о.–0,027 (93)	н.о.–0,108	н.о.–0,008 (90)
Кремнекислота	0,20–5,30	1,20–2,10 (47)	0,80 – 6,10	2,50–3,20 (41)
Фенолы	н.о.–0,030	н.о.–0,004 (73)	н.о.–0,026	н.о.–0,003 (72)
Нефтяные углеводороды	н.о.–0,30	н.о.–0,05 (83)	н.о.–0,83	н.о.–0,08 (86)
Соединения железа	0,02–6,50	0,02–1,00 (72)	0,01–1,37	0,01–0,20 (78)
Соединения меди	н.о.–0,023	н.о.–0,004 (54)	н.о.–0,029	н.о.–0,004 (82)
Соединения цинка	н.о.–0,258	н.о.–0,018 (80)	н.о.–0,226	н.о.–0,019 (79)
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание: * в скобках – частость, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

Антропогенная трансформация гидрохимического режима на устьевых участках рек Сибири также проявляется в нарушении [Никаноров и др., 2010]:

– кислородного режима в сторону повышения повторяемости случаев его дефицита, особенно в конце подледного периода (рис. 15);

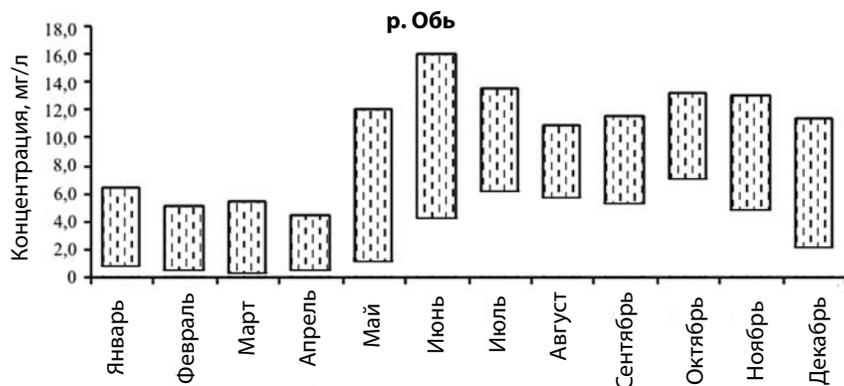


Рис. 15. Внутригодовая изменчивость концентрации растворенного в воде кислорода на устьевом участке реки Обь (за многолетний период)

– сезонной изменчивости содержания в водной среде минеральных форм азота и фосфора с тенденцией увеличения их концентраций в теплый период (рис. 16).

3.3. Реки Юга России

Большая концентрация промышленности и высокая плотность населения на территории Юга России в условиях недостаточного увлажнения усугубляют последствия антропогенного воздействия на водные экосистемы региона. Изменение водности таких крупных рек, как Волга, Дон, Кубань за счет их зарегулирования приводит к усилению эрозии на водосборах и в руслах рек, увеличению мутности, наносов и нарушению русловых процессов. При уменьшении водности снижается разбавляющая способность водотоков и потенциал самоочищения устьевых экосистем южных рек [Никаноров и др., 2010б; Никаноров и др., 2011б; Никаноров и др., 2012].

Для трех крупных южных рек верхние границы модальных интервалов значений концентраций изменяются на замыкающих створах по (табл. 14):

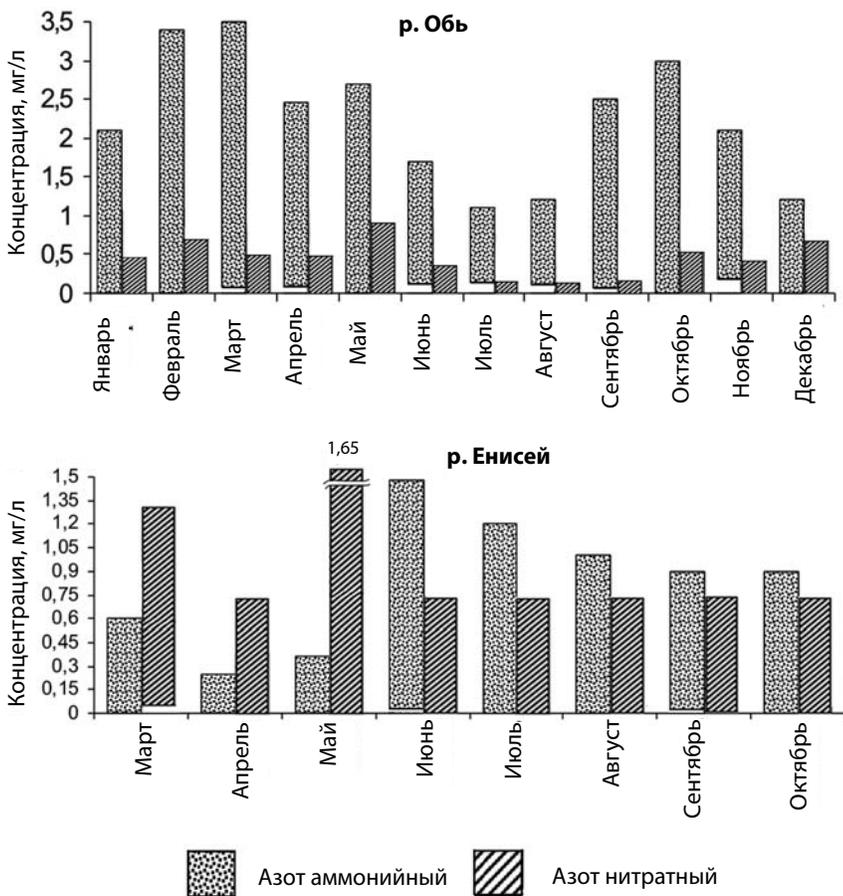


Рис. 16. Внутригодовая изменчивость концентраций минеральных форм азота на устьевых участках рек Обь и Енисей (за многолетний период)

- хлоридам от 33,0 мг/дм³ (р. Кубань) до 177 мг/дм³ (р. Дон);
- легкоокисляемым органическим веществам от 1,53 мг/дм³ (р. Кубань) до 3,71 мг/дм³ (р. Волга);
- азоту нитритному от 0,017 мг/дм³ (р. Кубань) до 0,063 мг/дм³ (р. Дон);
- азоту нитратному от 0,28 мг/дм³ (р. Волга) до 3,26 мг/дм³ (р. Кубань);
- нефтяным углеводородам от 0,21 мг/дм³ (р. Кубань) до 0,42 мг/дм³ (р. Волга);
- соединениям железа от 0,21 мг/дм³ (р. Волга) до 0,48 мг/дм³ (р. Дон);
- соединениям меди от 0,003 мг/дм³ (р. Кубань) до 0,007 мг/дм³ (рр. Волга и Дон);
- соединениям цинка от 0,011 мг/дм³ (р. Кубань) до 0,035 мг/дм³ (р. Волга).

Наиболее значительные различия в максимальных значениях общего и модалного диапазонов отмечены по (табл. 14):

- биогенным веществам для всех устьевых участков исследуемых рек;
- нефтяным углеводородам, соединениям меди и цинка для р. Волга;
- соединениям цинка для р. Кубань.

По таким показателям, как фенолы (3,0–4,0), соединения железа (2,1–4,8), цинка (1,1–3,5) и азот нитритный (1,0–3,0 раз) верхние границы модалных интервалов значений концентраций незначительно превышают ПДК. Отмечается также ряд ингредиентов с большим превышением ПДК – это соединения меди и нефтяные углеводороды соответственно 3,0–7,0 и 4,2–8,4 раз (табл. 14).

Для исследуемых устьевых участков рек Юга России характерны повышенные концентрации в водной среде азота нитритного и нитратного, максимальные значения которых периодически превышали предельно допустимые экологические концентрации (ПДЭК), условно принятые для эвтрофных водоемов. В устьях рр. Кубань и Волга превышение достигало по азоту нитритному соответственно 15,8 и 39,2 раза, в устьях рр. Дон и Кубань по азоту нитратному в 18–19 раз [Никаноров и др., 2012].

Таблица 14

Компонентный состав водной среды на устьевых участках крупных рек Юга России

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации, мг/дм ³					
	р. Дон, ст. Раздорская		р. Кубань, х. Тиховский		р. Волга, с. Верхнее Лебяжье	
	общий	модаль- ный	общий	модаль- ный	общий	модаль- ный
Хлориды	60,1–253	100–177 (68)*	6,00–54,9	23,8–33,0 (43)	15,4–108	24,3–41,1 (66)
Сульфаты	73,2–558	116–198 (71)	29,0–415	97,0–119 (45)	38,7–165	38,7–81,6 (77)
ЛООВ по БПК ₅	0,80–18,0	0,80–3,22 (50)	0,30–6,79	0,84–1,53 (57)	0,42– 9,32	0,42–3,71 (69)
Азот аммонийный	н.о.**– 0,90	н.о.–0,12 (71)	н.о.–1,67	н.о.–0,27 (65)	н.о.–1,00	н.о.–0,10 (88)
Азот нитритный	н.о.– 0,467	н.о.–0,063 (71)	0,002– 0,158	0,002–0,017 (48)	н.о.– 0,392	н.о.–0,055 (87)
Азот нитрат- ный	н.о.–5,60	н.о.–0,73 (89)	0,03–5,72	1,12–3,26 (63)	н.о.–2,01	н.о.–0,28 (53)
Фосфор фосфатный	0,012– 0,270	0,012–0,062 (62)	н.о.–0,162	н.о.–0,020 (79)	н.о.– 0,310	н.о.–0,055 (71)
Кремнекислота	0,10–10,6	0,10–5,00 (70)	1,20–7,20	2,30–4,20 (73)	0,10–7,50	0,10–1,40 (38)
Фенолы	н.о.– 0,024	н.о.–0,003 (74)	н.о.–0,029	н.о.–0,003 (85)	н.о.– 0,024	н.о.–0,004 (79)
Нефтяные углеводороды	н.о.–1,37	н.о.–0,23 (86)	н.о.–1,44	н.о.–0,21 (66)	н.о.–3,70	н.о.–0,42 (88)
Соединения железа	0,01–2,90	0,01–0,48 (87)	0,01–1,00	0,01–0,30 (80)	0,01– 1,37	0,01–0,21 (70)
Соединения меди	н.о.– 0,028	0,004–0,007 (44)	н.о.–0,020	0,002–0,003 (65)	н.о.– 0,049	н.о.–0,007 (69)
Соединения цинка	н.о.– 0,060	н.о.–0,015 (87)	н.о.–0,099	н.о.–0,011 (65)	н.о.– 0,246	н.о.–0,035 (71)

Примечание: * в скобках – частота, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

3.4. Реки Дальнего Востока

Для природных экосистем Дальнего Востока в последние годы отмечается снижение стабильности за счет несбалансированности природопользования в регионе, низкой устойчивости экосистем к загрязнению. Особенности гидрологического режима, дефицит кислорода, природные чрезвычайные экологические ситуации (лесные пожары, муссонные дожди, тайфуны и т.п.) снижают способность дальневосточных рек к самоочищению [Бакланов, 2001].

Всё возрастающая хозяйственная деятельность существенным образом изменяет не только режим, но и экологическое состояние речных экосистем. При этом возрастает вероятность возникновения новых неблагоприятных экологических ситуаций. Кроме этого, изменчивость природных факторов формирования гидрохимического режима рек Дальнего Востока и неравномерность освоения территории края предопределяют значительную пространственную неоднородность компонентного состава воды устьевых экосистем [Никаноров, Брызгалов, 2011].

Среди рек Дальнего Востока наиболее крупной является Амур, остальные можно считать средними и малыми водотоками. В данной работе рассмотрены только устьевые области рек Амур и Камчатка.

Сравнение верхних границ модальных интервалов значений концентраций химических веществ для устьевых экосистем исследуемых рек показало, что наименьшие их значения характерны по азоту аммонийному, азоту нитритному, соединениям цинка и никеля, а наибольшие – по кремнекислоте и нефтяным углеводородам для р. Камчатка (табл. 15).

Для р. Амур наибольшие значения верхних границ модальных интервалов концентраций наблюдаются по легкоокисляемым органическим веществам, фенолам и соединениям железа.

Наиболее значительные различия в максимальных значениях общего и модального диапазонов отмечены для устьевых участков по (табл. 15):

Таблица 15

Компонентный состав водной среды на устьевых участках рек Дальнего Востока

Ингредиент	Диапазон колебания концентрации (мг/дм ³)			
	р. Амур, г. Николаевск-на-Амуре		р. Камчатка, г. Ключи	
	общий	модальный	общий	модальный
Хлориды	1,00–27,0	1,00–4,50 (61)*	1,60–9,40	1,60–5,20 (63)
Сульфаты	1,00–48,2	1,00–8,80 (46)	2,00–33,0	2,00–10,9 (53)
ЛООВ по БПК ₅	0,14–6,16	0,93–2,48 (74)	0,21–2,96	0,21–0,97 (40)
Азот аммонийный	н.о.*–3,41	н.о.–0,66 (80)	н.о.–0,24	н.о.–0,04 (70)
Азот нитритный	н.о.–0,210	н.о.–0,024 (86)	н.о.–0,030	н.о.–0,004 (90)
Азот нитратный	н.о.–1,92	н.о.–0,15 (68)	н.о.–0,44	н.о.–0,10 (67)
Фосфор фосфатный	н.о.–0,195	н.о.–0,045 (58)	0,003–0,197	0,003–0,047 (61)
Кремнекислота	н.о.–7,90	н.о.–2,15 (60)	4,7–20,8	4,7–14,8 (71)
Фенолы	н.о.–0,054	н.о.–0,007 (73)	н.о.–0,024	н.о.–0,004 (76)
Нефтяные углеводороды	н.о.–1,18	н.о.–0,11 (93)	н.о.–0,98	н.о.–0,20 (76)
Соединения железа	0,04–3,23	0,35–0,68 (39)	0,09–1,90	0,01–0,44 (72)
Соединения меди	н.о.–0,037	н.о.–0,005 (72)	н.о.–0,027	н.о.–0,004 (70)
Соединения цинка	н.о.–0,400	н.о.–0,022 (76)	н.о.–0,050	н.о.–0,007 (87)
Соединения никеля	н.о.–0,045	н.о.–0,008 (68)	н.о.–0,009	н.о.–0,002 (78)

Примечание: * в скобках – частость, %; ** н.о. – ниже предела обнаружения.

– азоту нитритному и нитратному, нефтяным углеводородам, фенолам и соединениям цинка для р. Амур;

– азоту нитритному, соединениям меди и цинка для р. Камчатка.

Верхние границы модальных интервалов значений концентраций незначительно превышают ПДК по нефтяным углеводородам (2,2–4,0 раза), азоту аммонийному и нитритному 1,7 и 1,2 раза соответственно. По фенолам, соединениям меди и железа превышение более значительно и составляет 4,0–7,0; 4,0–5,0 и 4,4–6,8 раз соответственно (табл. 15).

Межгодовая и внутригодовая изменчивость содержания минеральных форм азота и фосфора оценивалась по превышению

ПДЭК, условно принятых для эвтрофных экосистем. Максимальная кратность превышения ПДЭК нередко достигала по азоту аммонийному и азоту нитритному соответственно 11,4 и 20,0 раз в устье р. Амур; по фосфору фосфатному 10,0 и 14,0 раз в устьях рр. Амур и Камчатка. Можно сделать вывод, что для устьевых экосистем Дальнего Востока антропогенная составляющая вносит существенный вклад в формирование современного режима биогенных элементов [Никаноров, Брызгалов, 2011].

3.5. Изменчивость компонентного состава водной среды устьевых экосистем крупных рек России

Различные природные факторы формирования гидрохимического режима рек, неравномерность освоения территории и антропогенного воздействия определяют значительную пространственную неоднородность в характере антропогенной изменчивости компонентного состава водной среды устьевых экосистем. Наиболее отчетливо это проявляется в изменении модальных интервалов концентраций химических веществ. Значения концентраций внутри модальных интервалов отражают «реальное» содержание растворенных химических веществ в водной среде устьевых экосистем за многолетний период. Можно сказать, что именно такие значения концентраций и определяют современное состояние и функционирование устьевых экосистем крупных рек России.

С учетом статистически обоснованных различий границ модальных интервалов значений концентраций отдельных химических веществ исследуемые устьевые экосистемы сгруппированы по ширине модального интервала. Данные обобщенные пределы модальных интервалов по каждому гидрохимическому показателю можно рассматривать как границы «антропогенно измененного» природного фона [Никаноров и др., 2007б] для исследуемых устьевых экосистем.

В таблице 16 представлены устьевые экосистемы исследуемых рек, сгруппированные по значениям «антропогенно изменен-

ного» природного фона. Верхняя граница модальных интервалов нередко значительно превышает ПДК для ряда показателей, таких как нефтяные углеводороды (4,6 и 12,0 раз), фенолы (4,0 и 7,0 раз), соединения железа (от 3,3 до 16,2 раз) и соединения меди (от 4,0 до 17,0 раз).

Наибольший размах модальных интервалов значений концентраций химических веществ (то есть «антропогенно измененного» природного фона) отмечен для устьевых экосистем (табл. 16):

- рр. Таз, Дон, Волга по легкоокисляемым органическим веществам;
- рр. Обь, Пур, Таз по азоту аммонийному;
- р. Дон по азоту нитритному;
- рр. Обь, Пур, Таз, Енисей по нефтяным углеводородам;
- рр. Печора, Яна, Индигирка, Амур, Обь, Пур, Таз по соединениям железа;
- р. Пур по соединениям меди;
- р. Таз по соединениям цинка.

Таблица 16

Изменчивость компонентного состава водной среды устьевых экосистем крупных рек России

Ингредиент	МИ* значений концентраций, мг/дм ³	Устьевая экосистема реки
ЛООВ**	0,17–1,70	Онега, Енисей, Колыма, Кубань, Амур, Камчатка
	0,16–2,95	Северная Двина, Печора, Обь, Пур, Лена, Яна, Индигирка
	0,42–3,71	Таз, Дон, Волга
Азот аммонийный	н.о.–0,12	Печора, Онега, Северная Двина, Лена, Яна, Колыма, Волга, Дон, Камчатка
	н.о.–0,27	Енисей, Индигирка, Кубань
	н.о.–0,66	Амур
	н.о.–1,36	Обь, Пур, Таз
Азот нитритный	н.о.–0,008	Онега, Северная Двина, Печора, Таз, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Камчатка
	н.о.–0,024	Обь, Пур, Кубань, Волга Амур
	н.о.–0,063	Дон

Окончание таблицы 16

Ингредиент	МИ* значений концентраций, мг/дм ³	Устьевая экосистема реки
Нефтяные углеводороды	н.о.–0,08	Печора, Онега, Северная Двина, Лена, Яна, Индигирка, Колыма
	н.о.–0,23	Волга, Дон, Кубань, Амур, Камчатка
	н.о.–0,60	Енисей, Обь, Пур Таз
Фенолы	н.о.–0,004	Онега, Северная Двина, Печора, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Кубань, Волга Камчатка
	н.о.–0,007	Обь, Пур, Таз, Амур
Соединения железа	0,01–0,33	Енисей, Кубань, Волга
	0,01–0,56	Онега, Северная Двина, Лена, Колыма, Дон, Камчатка
	0,10–1,00	Печора, Яна, Индигирка, Амур
	0,10–1,62	Обь, Пур, Таз
Соединения меди	н.о.–0,004	Онега, Печора, Лена, Индигирка, Колыма, Кубань, Камчатка
	н.о.–0,007	Северная Двина, Обь, Таз, Енисей, Яна, Дон, Волга, Амур
	н.о.–0,017	Пур
Соединения цинка	н.о.–0,011	Лена, Яна, Кубань, Камчатка
	н.о.–0,022	Онега, Северная Двина, Печора, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Кубань, Амур, Камчатка
	н.о.–0,037	Енисей, Обь, Пур, Волга
	н.о.–0,086	Таз

Примечание: *МИ – модальный интервал, **ЛООВ – легкоокисляемые органические вещества.

Такая изменчивость компонентного состава водной среды косвенно свидетельствует, что исследуемые устьевые экосистемы рек функционируют в условиях **повышенного содержания в водной среде нефтяных углеводородов, фенолов, соединений железа и меди.**

По рассчитанным ранее модальным интервалам и представленному в таблице 16 условному разделению значений концен-

траций внутри модальных интервалов отдельных химических веществ авторы предлагают классифицировать устьевые экосистемы **по устойчивости компонентного состава водной среды**, придав каждому диапазону (модальному интервалу) ту или иную «степень устойчивости» в бальном выражении.

Относительная устойчивость компонентного состава водной среды определяется как среднеарифметическое значение условных баллов по каждому компоненту. При этом, если верхняя граница значения концентрации модального интервала не превышает 1 ПДК, присваивается 1 балл, не превышает 5 ПДК – 2, не превышает 10 ПДК – 3, не превышает 50 ПДК – 4 и превышает ПДК в 50 и более раз – 5 баллов. Чем ниже средний балл, тем выше устойчивость компонентного состава водной среды. Градации устойчивости состояния устьевых экосистем приняты по Р 52.24.776-2012.

Критерии оценки состояния устьевых экосистем по относительной устойчивости компонентного состава водной среды представлены в таблице 17.

По данной классификации проведена оценка состояния устьевых экосистем по степени относительной устойчивости компонентного состава их водной среды. Результаты приведены в таблице 18.

Обобщенная оценка устойчивости состояния устьевых экосистем по изменчивости компонентного состава их водной среды показала, что четыре устьевые экосистемы, состояние которых можно охарактеризовать как устойчивое (экологически благополучное), – это устья рек Онега, Лена, Кубань и Камчатка. Относительно устойчивыми (слабо нарушенными) могут считаться устьевые экосистемы рек Печора, Северная Двина, Енисей, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, а неустойчивыми (антропогенно нарушенными) – устья рек Обь, Пур, Таз и Амур.

Таблица 17

Классификация устьевых экосистем по относительной устойчивости компонентного состава водной среды

Средний балл	Состояние экосистемы по степени относительной устойчивости компонентного состава водной среды
От 1,0 до 1,5	устойчивое (экологически благополучное)
Свыше 1,5 до 2,0	относительно устойчивое (слабо нарушенное)
Свыше 2,0 до 3,0	неустойчивое (антропогенно нарушенное)
Свыше 3,0 до 4,0	переходное (сильно нарушенное)
Свыше 4,0 до 5,0	крайне неустойчивое (необратимо нарушенное или регрессивное)

Таблица 18

Обобщенная оценка устойчивости состояния устьевых экосистем по изменчивости компонентного состава их водной среды

Показатель	Устьевая экосистема															
	Онега	Печора	Сев. Двина	Енисей	Обь	Пур	Таз	Лена	Яна	Индиگیرка	Колыма	Волга	Дон	Кубань	Амур	Камчатка
ЛООВ	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1
NH ₄ ⁺	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1
NO ₂ ⁻	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
НФПР	1	1	1	3	3	4	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Фенолы	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2
Fe	2	3	2	2	4	4	4	2	3	3	2	2	2	2	3	2
Cu	2	2	2	3	3	4	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Zn	2	2	2	2	2	2	3	1	1	2	2	2	2	1	2	1
Средний балл	1,50	1,625	1,625	1,875	2,50	2,50	2,625	1,50	1,625	1,75	1,625	1,875	2,00	1,50	2,125	1,50

ПРИТОК РАСТВОРЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСТЬЕВЫЕ ОБЛАСТИ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ

Глава 4

Транспорт по длине реки растворенных химических веществ является одним из важнейших факторов формирования современного экологического состояния устьевых областей рек. Объемы переноса и компонентный состав химического стока формируются как за счет локального, так и регионального распространения загрязняющих веществ [Никаноров и др., 2007а; Никаноров и др., 2010а].

Важным моментом при оценке состояния водных экосистем является внутригодовая сезонная изменчивость гидрохимических показателей, особенно биогенных элементов. Последние, как известно, определяют уровень биологической продуктивности водных экосистем. В свою очередь, режим биогенных элементов тесно связан с периодичностью и степенью развития водных сообществ. Поэтому особое внимание было уделено оценке внутригодовой изменчивости объемов притока в устьевые области минеральных соединений азота, фосфора и кремнекислоты.

4.1. Реки Европейского Севера

Результаты расчета притока растворенных химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек Европейского Севера приведены в таблице 19.

Высокая пространственная изменчивость объемов притока химических веществ отмечена практически по всем ингредиентам, при этом наибольшими объемами притока характеризуется р. Печора, наименьшими – р. Онега. Это говорит о том, что определяющим фактором в изменчивости притока веществ является водный сток рек.

Таблица 19

Пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на замыкающие створы рек Европейского Севера

Ингредиент	Объем притока растворенных химических веществ (тыс. т в год)					
	р. Онега, с. Порог		р. Северная Двина, с. Усть-Пинега		р. Печора, д. Оксино	
	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний
Хлориды	56,2–103	79,7	534–874	721	309–2034	937
Сульфаты	136–1034	590	3869–6006	4908	126–3243	1650
ЛООВ* (по БПК ₅)	3,92–25,4	15,2	117–273	203	190–483	332
Азот аммонийный	0,528–3,38	1,31	2,17–20,9	8,38	3,06–39,5	14,6
Азот нитритный	0**–0,043	0,020	0–0,572	0,178	0–0,462	0,256
Азот нитратный	0,870–0,255	0,160	4,61–13,0	8,73	3,34–22,0	12,3
Фосфор фосфатный	0,041–0,035	0,011	0,348–2,75	1,36	3,34–8,93	5,59
Кремнекислота	17,4–47,8	31,5	192–338	257	259–574	411
Фенолы	0–0,074	0,015	0–0,409	0,120	0–1,82	0,304
Нефтяные углеводороды	0–1,05	0,56	0,280–9,98	3,14	1,91–219	24,5
Соединения железа	3,30–9,90	6,13	27,8–59,8	35,8	12,0–158	21,6
Соединения меди	0,024–0,316	0,050	0,164–0,576	0,272	0,286–1,20	0,586
Соединения цинка	0,046–0,688	0,330	0,587–5,26	1,75	0,216–9,10	3,19
Соединения никеля	0,011–0,059	0,036	0–0,312	0,160	0–2,30	0,562

Примечание: здесь и далее в таблицах: ЛООВ* – легкоокисляемые органические вещества, определяемые по БПК₅; ** приток равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

Значительный размах колебаний минимальных и максимальных значений объемов притока наблюдается по:

- сульфатам, азоту аммонийному, соединениям железа для р. Печора;
- нефтяным углеводородам для рек Печора и Северная Двина;
- соединениям меди и цинка для рек Онега и Печора.

Довольно значительна изменчивость объемов притока растворенных химических веществ, рассмотренная по пятилетним периодам.

Временная изменчивость компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих на устьевой участок р. Онега, характеризуется тенденцией снижения в последние годы объемов притока соединений фосфора, нефтяных углеводородов и соединений меди на фоне незначительного повышения притока азота аммонийного и соединений цинка (рис. 17).

Изменчивость компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих на устьевой участок р. Северная Двина, характеризуется тенденцией снижения в последние годы объемов притока азота нитритного, нефтяных углеводородов на фоне повышения доли азота аммонийного, фенолов и соединений меди (рис. 18).

Для замыкающего створа р. Печора характерна тенденция снижения притока только соединений азота нитратного на фоне незначительного увеличения поступления других химических веществ в последние годы (рис. 19).

Внутригодовое распределение объемов притока кремнекислоты на замыкающие створы исследуемых рек весьма неоднородно. Максимальные объемы притока кремнекислоты приходятся на устьевые участки (табл. 20):

- р. Онега – на апрель-май (до 47 % общего объема притока);
- р. Северная Двина – на апрель-июнь (до 54 % общего объема притока);
- р. Печора – на май-июнь (до 59 % общего объема притока).

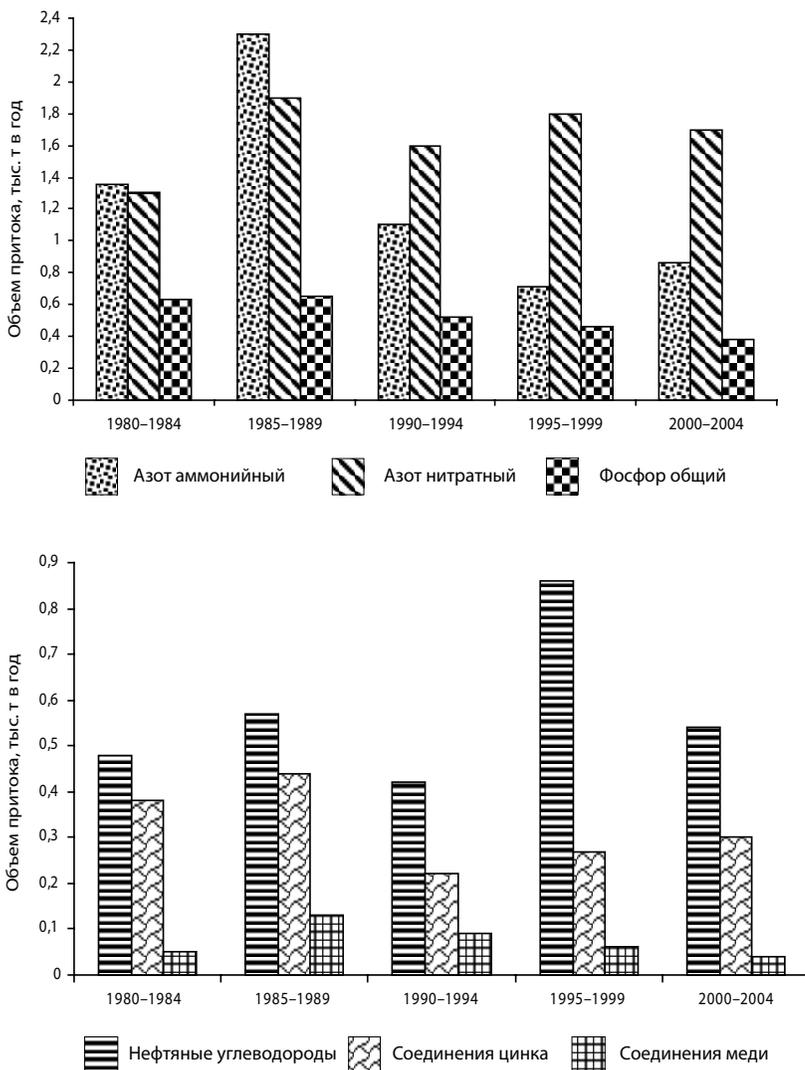


Рис. 17. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Онега

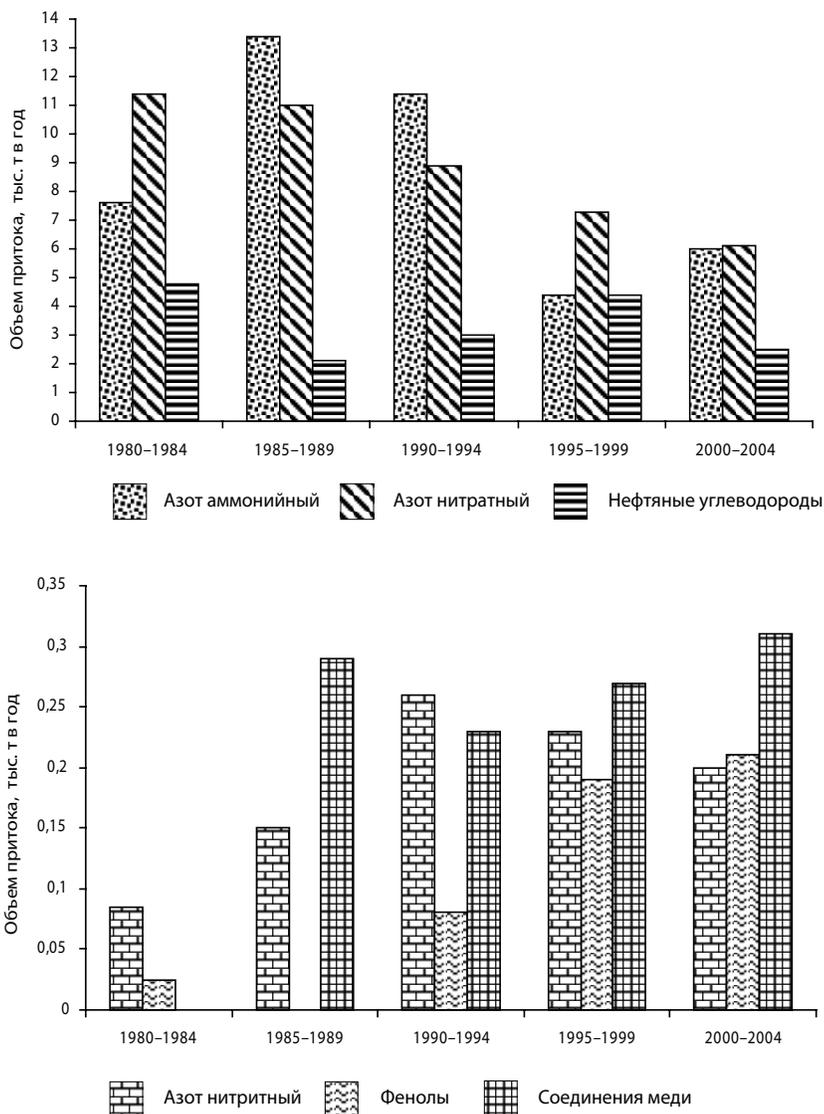


Рис. 18. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Северная Двина

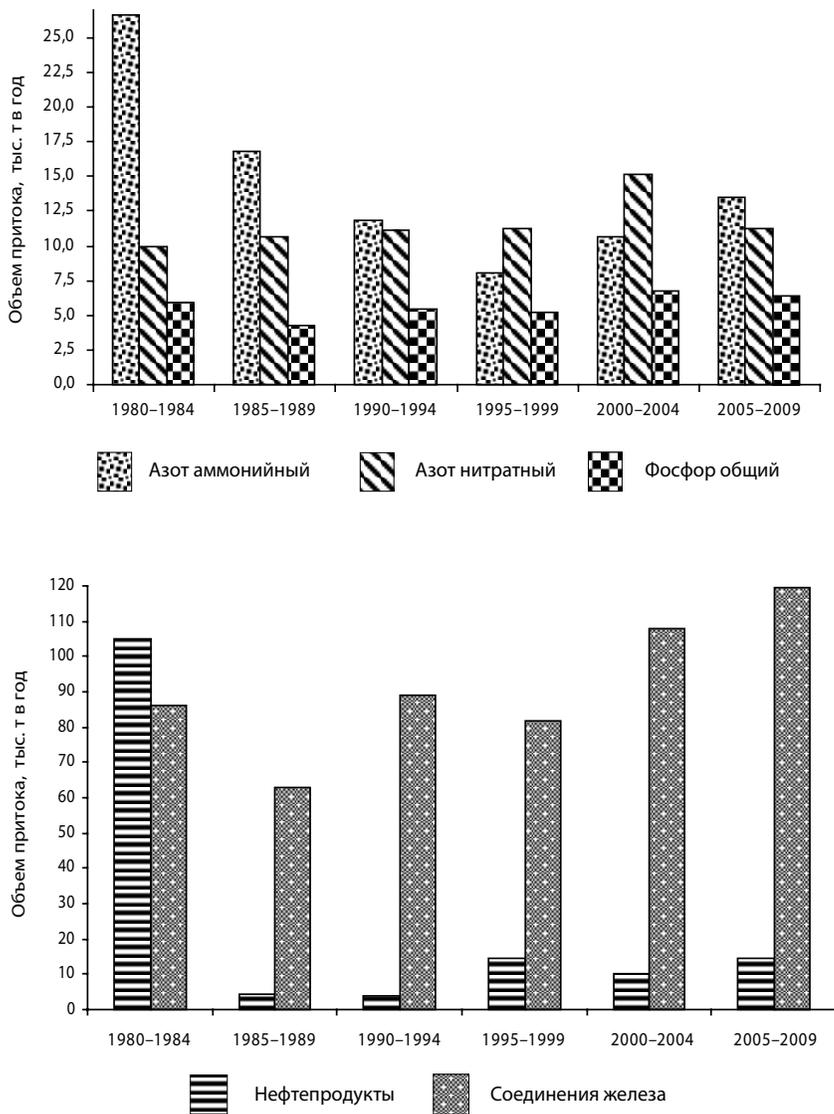


Рис. 19. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Печора

Таблица 20

Внутригодовая изменчивость объемов притока кремнекислоты на устьевые участки рек Европейского Севера

Месяц	Среднемноголетние значения объемов притока, тыс. т		
	р. Онега	р. Северная Двина	р. Печора
Январь	1,41	11,6	11,7
Февраль	0,88	9,28	7,85
Март	1,15	7,82	8,60
Апрель	4,45	24,3	11,2
Май	10,0	66,5	82,2
Июнь	2,46	33,3	72,3
Июль	1,21	14,1	34,8
Август	1,40	9,12	18,4
Сентябрь	1,73	9,56	21,8
Октябрь	2,43	15,6	26,5
Ноябрь	1,80	14,8	15,7
Декабрь	1,60	12,6	11,3

Рассчитанные ежемесячные среднемноголетние величины объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений показали, что наибольшие в году величины отмечены для:

– р. Онега – по азоту аммонийному, фосфору фосфатному и общему в апреле-июне и азоту нитратному в апреле-мае (рис. 20);

– р. Северная Двина – по азоту аммонийному, нитратному и фосфору общему в апреле-мае (рис. 21);

– р. Печора – по азоту нитратному в мае, фосфору фосфатному в мае-июне, по азоту аммонийному и фосфору общему в июне (рис. 22).

Значения модулей притока изучаемых растворенных химических веществ на замыкающие створы рек Европейского Севера представлены в таблице 21.

Результаты расчета значений модуля притока химических веществ на устьевые участки исследуемых рек показали, что наименьшие значения характерны для устьевых экосистем реки Онега (хлориды, ЛООВ, азот аммонийный, азот нитрит-

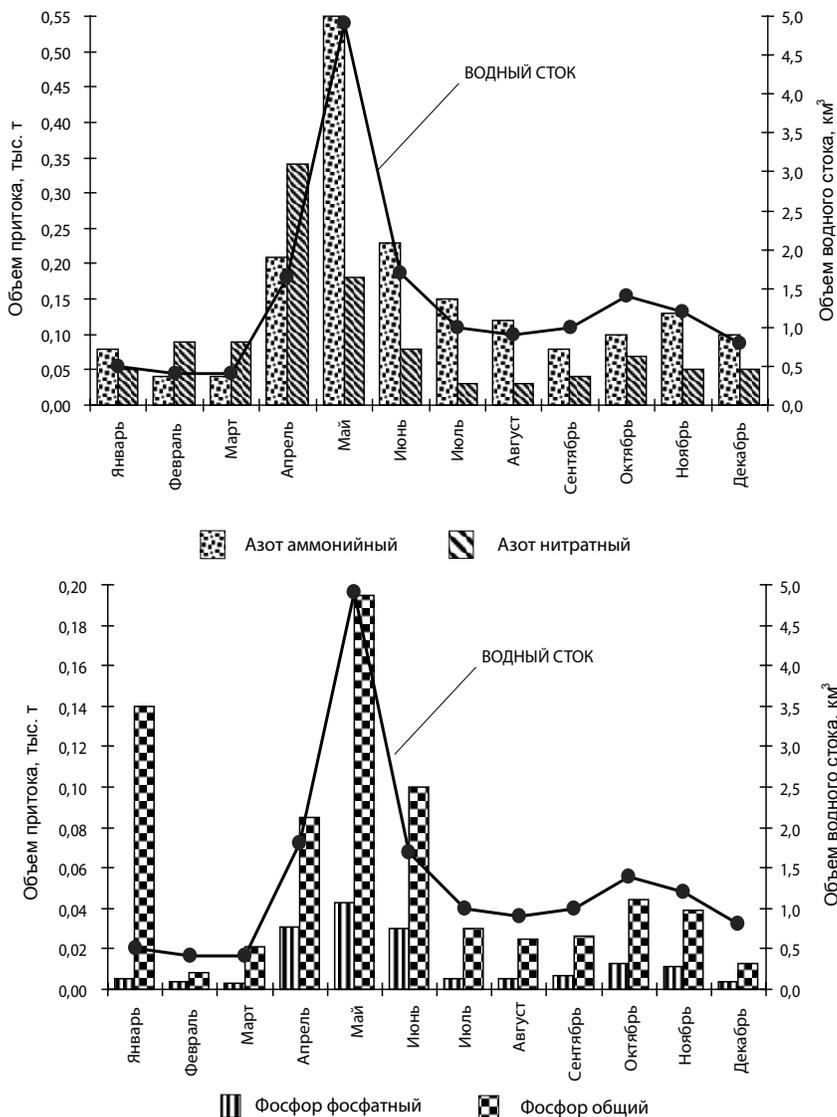


Рис. 20. Внутригодовая изменчивость среднееголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Онега

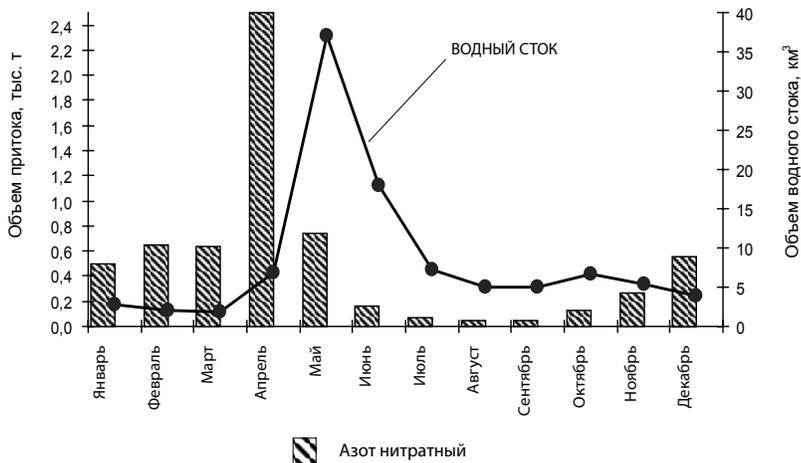
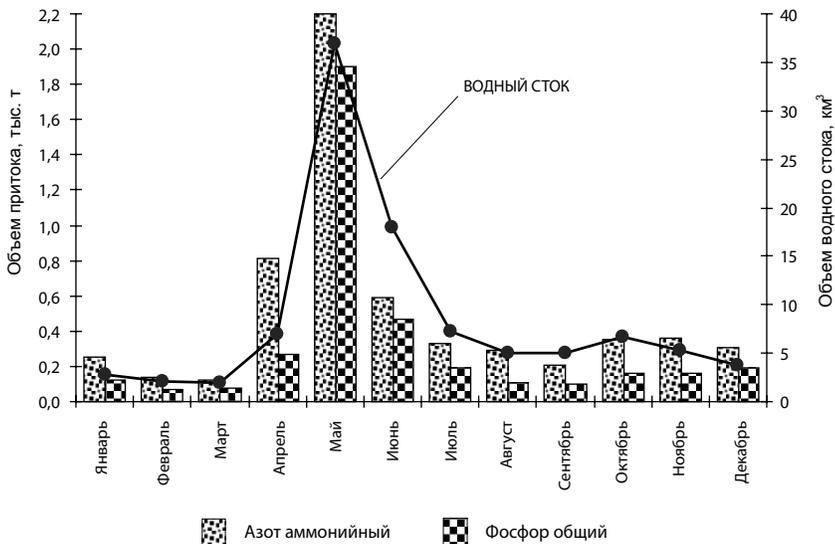


Рис. 21. Внутригодовая изменчивость среднееголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Северная Двина

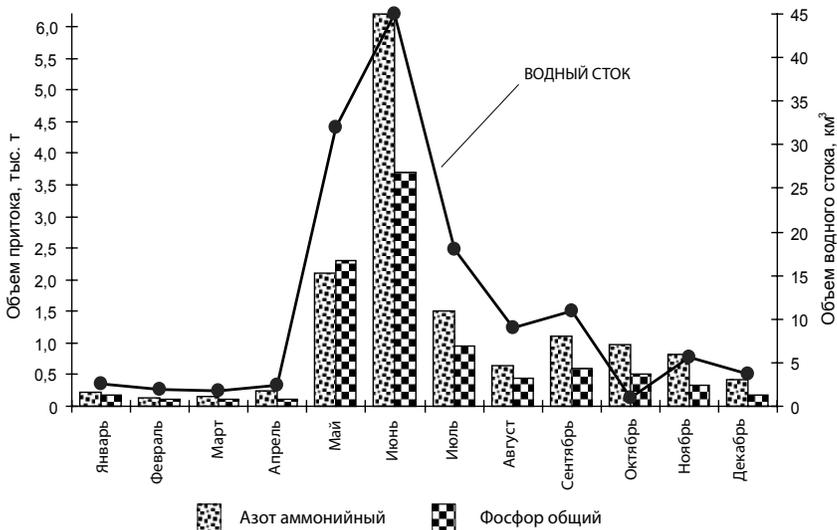
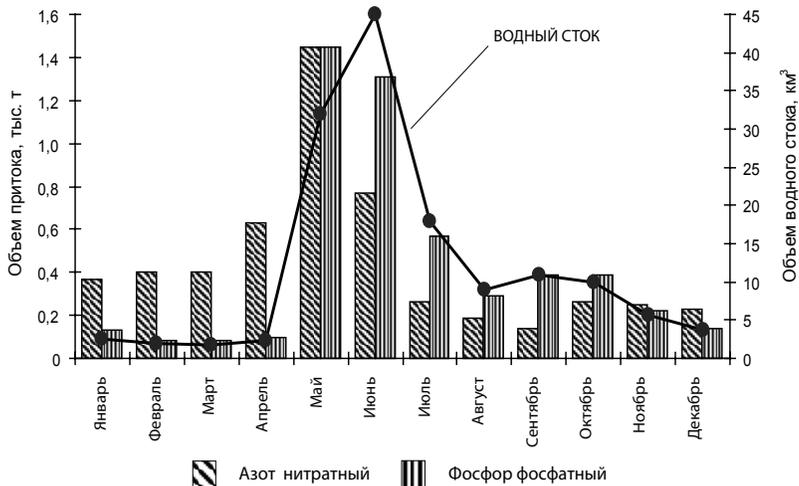


Рис. 22. Внутригодовая изменчивость среднееголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Печора

Таблица 21
Изменчивость модулей притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек Европейского Севера

Ингредиент	Модуль притока растворенных химических веществ (т/км ² в год)					
	р. Онега, с. Порог		р. Северная Двина, с. Усть-Пинега		р. Печора, с. Оксина	
	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний
Хлориды	1,01–1,85	1,43	1,53–2,51	2,07	0,99–6,52	3,00
Сульфаты	2,44–19,7	10,6	10,6–17,3	14,1	2,33–10,4	5,29
ЛООВ (по БПК ₅)	0,070–0,465	0,273	0,336–0,784	0,587	0,609–1,55	1,07
Азот аммонийный	0,009–0,060	0,011	0,006–0,060	0,024	0,010–0,127	0,047
Азот нитритный	0*–0,0007	0,0003	0–0,0016	0,0005	0–0,0015	0,0008
Азот нитратный	0,016–0,062	0,030	0,013–0,037	0,025	0,011–0,071	0,039
Фосфор фосфатный	0,0007–0,005	0,003	0,001–0,008	0,004	0,011–0,027	0,018
Кремнекислота	0,312–0,858	0,565	0,552–0,971	0,708	0,894–1,67	1,30
Фенолы	0–0,0010	0,0003	0–0,0010	0,0003	0–0,0060	0,0010
Нефтяные углеводороды	0–0,019	0,010	0,0008–0,029	0,009	0,006–0,702	0,077
Соединения железа	0,059–0,178	0,110	0,080–0,172	0,103	0,038–0,458	0,281
Соединения меди	0,0004–0,006	0,0010	0,0005–0,0017	0,0008	0,009–0,004	0,0020
Соединения цинка	0,0008–0,012	0,006	0,0017–0,0151	0,005	0,0007–0,029	0,010
Соединения никеля	0,0002–0,006	0,0010	0–0,0010	0,0005	0–0,0070	0,0020

Примечание: * модуль притока равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

ный, фосфор фосфатный, кремнекислота и фенолы) и реки Северная Двина (азот нитратный, фенолы, нефтяные углеводороды, соединения железа, меди, цинка и никеля), а наибольшие (кроме сульфатов) – реки Печора. Таким образом, наименьшую нагрузку по притоку химических веществ испытывает устья рр. Онега и Северная Двина, наибольшую – устьевая экосистема р. Печора.

4.2. Реки Сибири

Результаты расчета притока растворенных химических веществ на замыкающие створы рек **бассейна Карского моря** приведены в таблице 22. Высокая пространственная изменчивость объемов притока химических веществ отмечена практически по всем ингредиентам, при этом, как и ожидается, наибольшими объемами притока характеризуются реки Обь и Енисей, наименьшими – рр. Пур и Таз, то есть определяющим фактором в изменчивости притока веществ является водный сток рек.

Наибольшая вариабельность объемов притока наблюдается по:

- сульфатам и соединениям цинка для р. Обь;
- сульфатам, азоту нитритному, фосфору фосфатному и соединениям цинка для реки Пур;
- азоту нитратному и соединениям цинка для реки Таз;
- азоту аммонийному, фенолам, нефтяным углеводородам, соединениям железа, меди и никеля для реки Енисей.

Довольно значительна изменчивость объемов притока растворенных химических веществ, представленная по пятилетиям.

В бассейне Карского моря временная изменчивость компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих на замыкающий створ, характеризуется для:

- р. Обь – заметным снижением в новом тысячелетии притока минеральных форм азота и фосфора (рис. 23) на фоне повышения поступления кремнекислоты, нефтяных углеводородов, соединений железа, меди, цинка и сульфатов;

- р. Пур – тенденцией повышения в последние годы притока соединений железа и цинка на фоне снижения поступления азота аммонийного и нефтяных углеводородов (рис. 24).

Таблица 22
Пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек водосбора Карского моря

Ингредиент	Объем притока растворенных химических веществ (тыс.т/км в год)									
	р. Обь, г. Салехард		р. Пур, г. Самбург		р. Таз, п. Сидоровск		р. Енисей, г. Игарка			
	диапазон колебания	средне-многoletний	диапазон колебания	средне-многoletний	диапазон колебания	средне-многoletний	диапазон колебания	средне-многoletний	диапазон колебания	средне-многoletний
Хлориды	686–4379	2553	25,6–197	111	32,4–128	66,7	3328–8432			5927
Сульфаты	1156–14022	4178	39,6–509	251	91,9–240	157	4356–11544			6977
ЛООВ (по БПК ₅)	324–1383	681	нет данных		48,0–118	84,9	291–1452			977
Азот аммонийный	136–1007	322	9,15–115,4	26,5	10,2–37,7	25,8	12,4–324			141
Азот нитритный	2,8–14,7	6,44	0,079–1,41	0,393	0,116–0,768	0,343	0*–3,86			0,830
Азот нитратный	14,3–117	41,9	0–6,58	1,65	0,030–4,01	1,54	0–175			31,0
Фосфор фосфатный	12,6–115	31,2	0,429–5,95	3,44	1,93–8,12	3,49	0–13,9			5,27
Кремнекислота	602–4167	1506	55,8–237	137	84,2–265	156	1149–4222			1896
Фенолы	0–5,70	1,31	0–0,277	0,123	0–0,347	0,199	0,637–9,11			2,95
Нефтяные углеводороды	84,2–631	245	4,62–37,1	16,4	6,62–26,9	17,1	43,2–949			254
Соединения железа	223–981	474	32,6–88,7	54,6	11,5–75,2	37,3	40,7–464			200
Соединения меди	0,878–8,15	2,40	0–1,79	0,286	0–0,468	0,162	0,761–11,9			4,95
Соединения цинка	0,197–20,8	9,54	0,171–3,63	1,34	0,019–1,89	0,603	9,56–37,9			21,3
Соединения никеля	0–7,16	0,88	0–3,52	0,356	0–0,113	0,044	0,082–1,27			0,511

Примечание: * приток равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

– р. Енисей – снижением в новом тысячелетии объемов притока азота аммонийного, нефтяных углеводородов, фенолов на фоне сохранения примерно на одном высоком уровне поступления соединений железа и соединений меди (рис. 25).

К числу основных различий во внутригодовом распределении объемов притока минеральных форм азота и фосфора на устьевые участки исследуемых рек в бассейне Карского моря следует отнести для реки:

– Обь – максимальное поступление азота аммонийного (72 % от общего объема) и фосфора фосфатного (86 %) в период с мая по сентябрь (рис. 26);

– Пур – основная доля притока азота аммонийного (58 %) приходится на май-июль, фосфора фосфатного (75 %) – на май-август (рис. 27);

– Таз – основная доля азота аммонийного (62 %) поступает в июне-июле, фосфора фосфатного (70 %) – в мае-июле (рис. 28);

– Енисей – основная доля поступления азота аммонийного (64 %) и фосфора фосфатного (49 %) приходится на июнь, азота нитратного (63 %) – на май (рис. 29).

Максимальная доля притока кремнекислоты (54–74 %) на замыкающие створы исследуемых рек приходится на период с мая по август (табл. 23).

Таблица 23

Внутригодовая изменчивость объемов притока кремнекислоты на устьевые участки рек бассейна Карского моря

Месяц	Среднеголетние значения объемов притока, тыс. т			
	р. Обь	р. Пур	р. Таз	р. Енисей
Февраль	56,2			
Март	57,6	5,00	6,26	43,5
Апрель	47,8	5,62	4,97	53,6
Май	161	11,3	17,6	203
Июнь	203	15,9	17,2	523
Июль	126	11,5	16,7	208
Август	98,8	8,76	10,2	143
Сентябрь	77,0	11,9	8,01	154
Октябрь	71,0	11,2	10,0	120
Ноябрь	5,86	6,55		

Примечание: пустая клетка означает отсутствие данных по водному стоку или содержанию кремнекислоты.

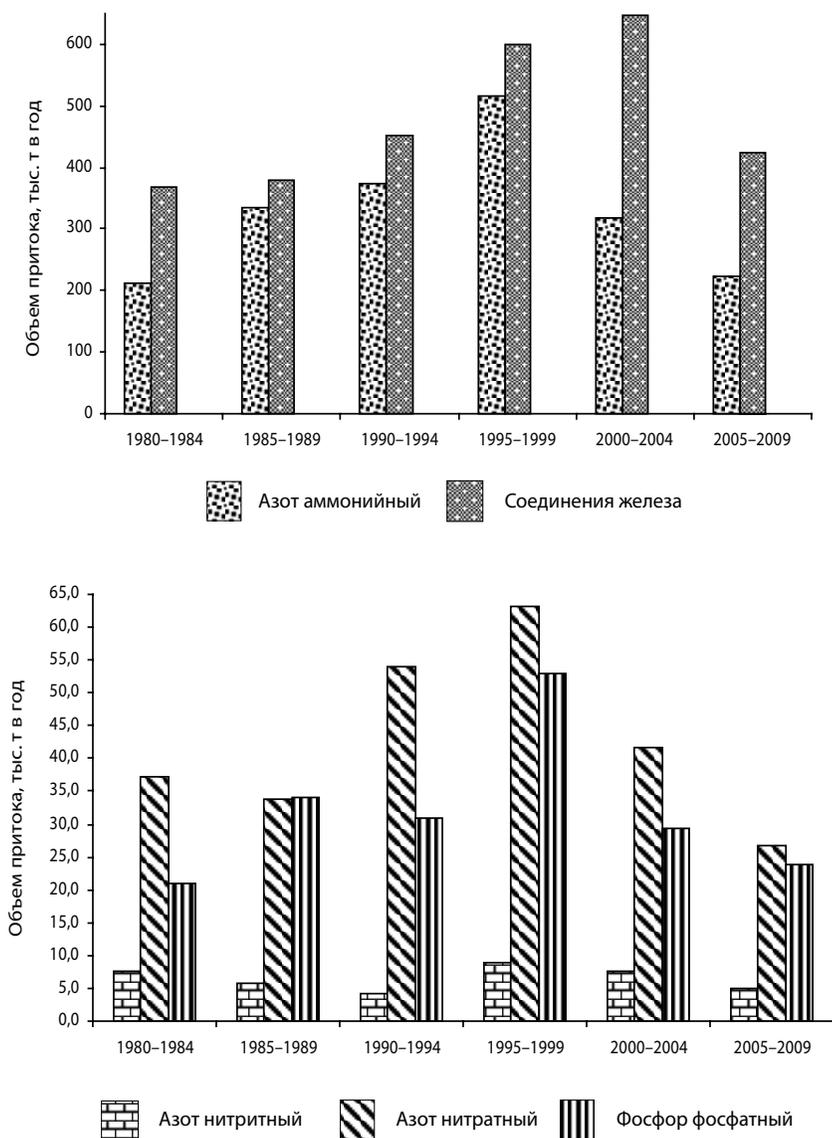


Рис. 23. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Обь

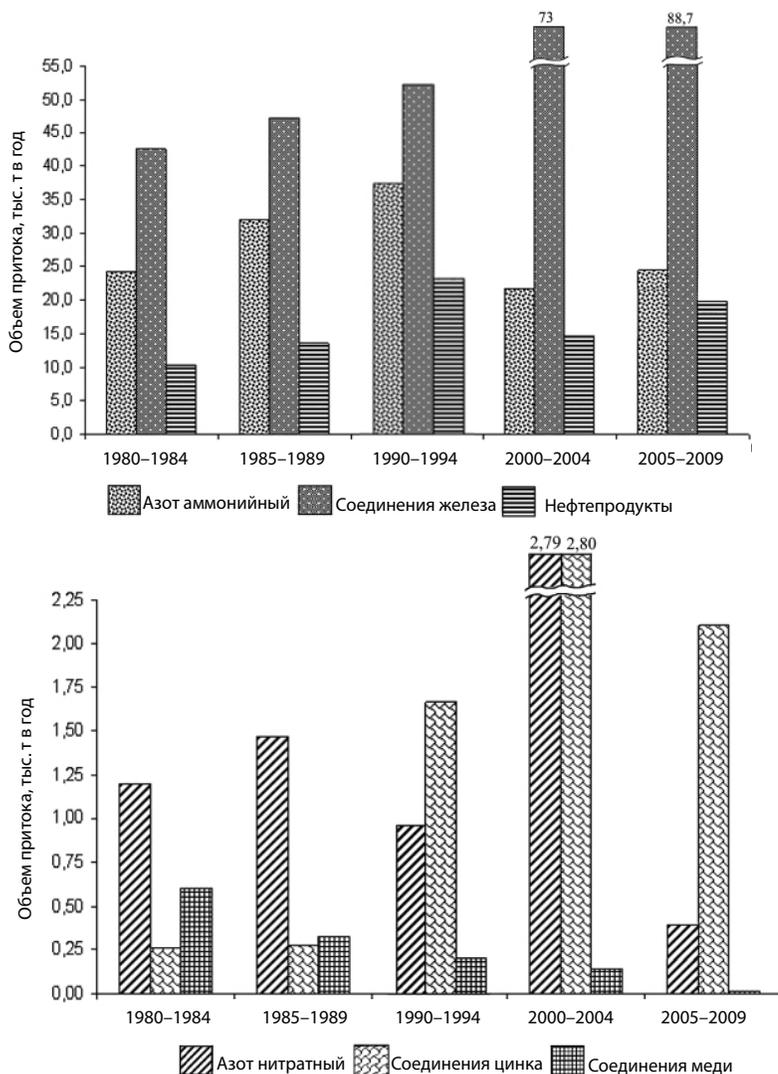


Рис. 24. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Пур

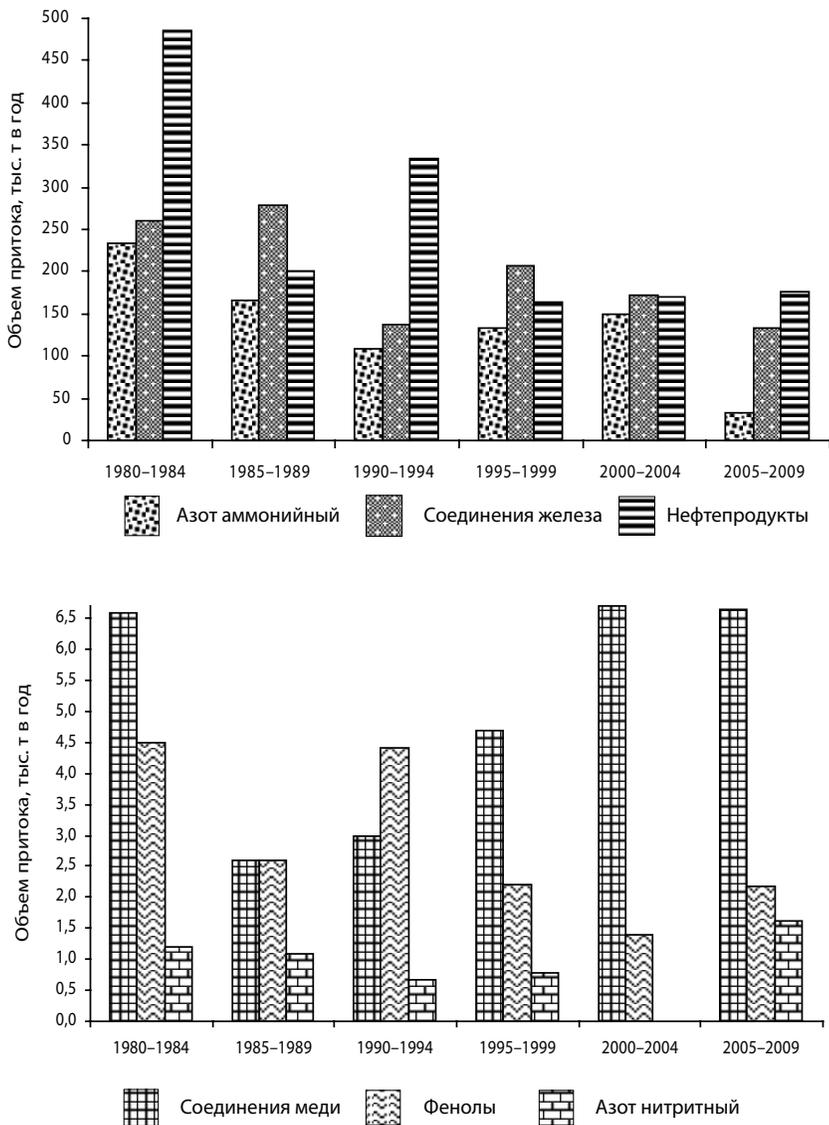


Рис. 25. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Енисей

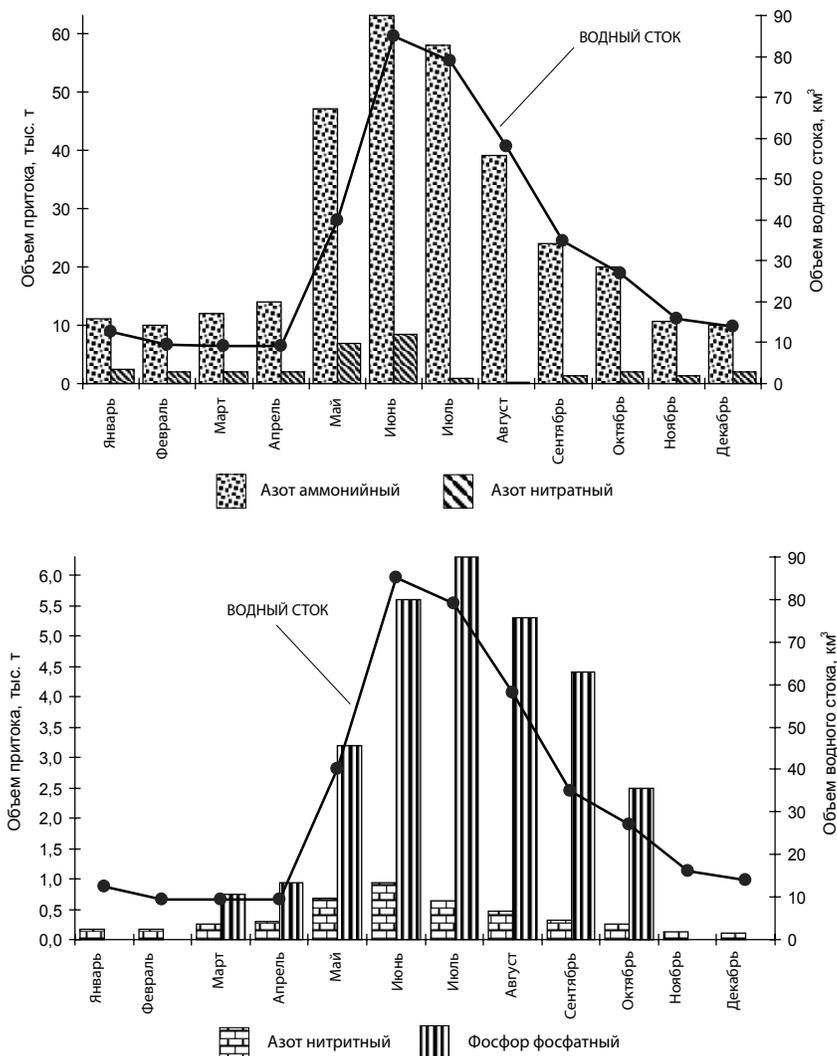


Рис. 26. Внутригодовая изменчивость среднееголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Обь

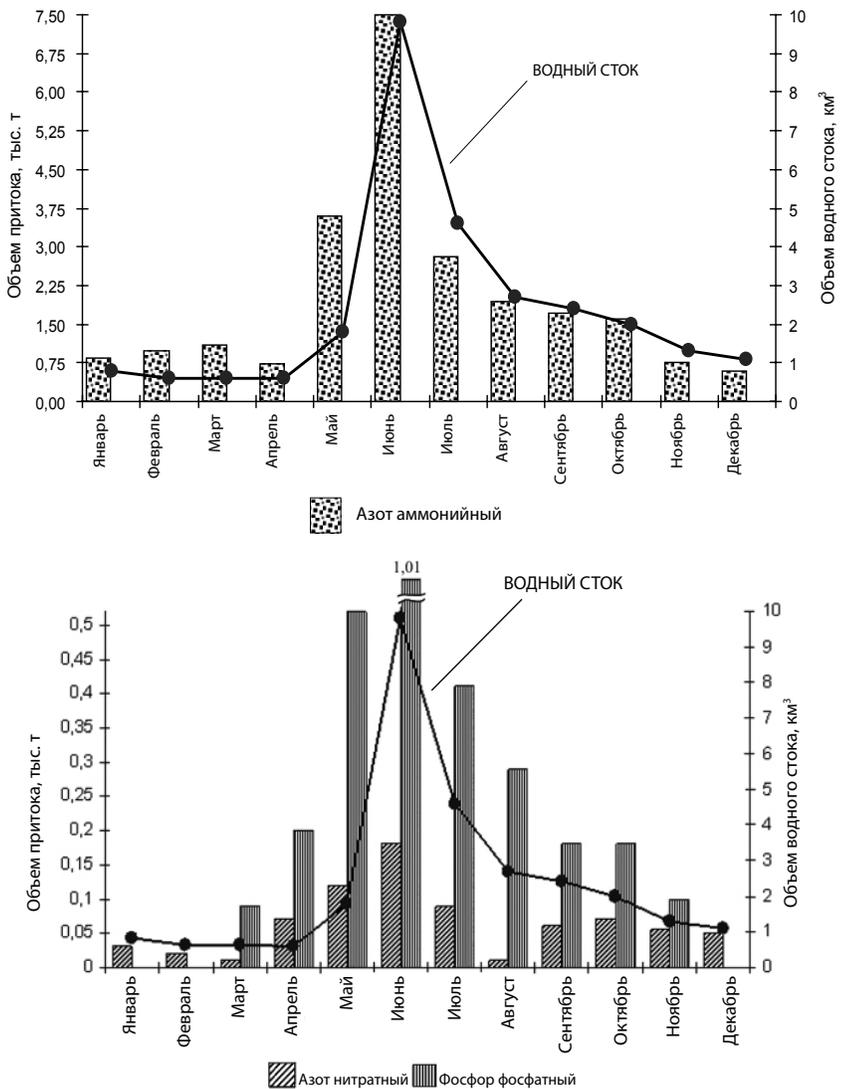


Рис. 27. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Пур

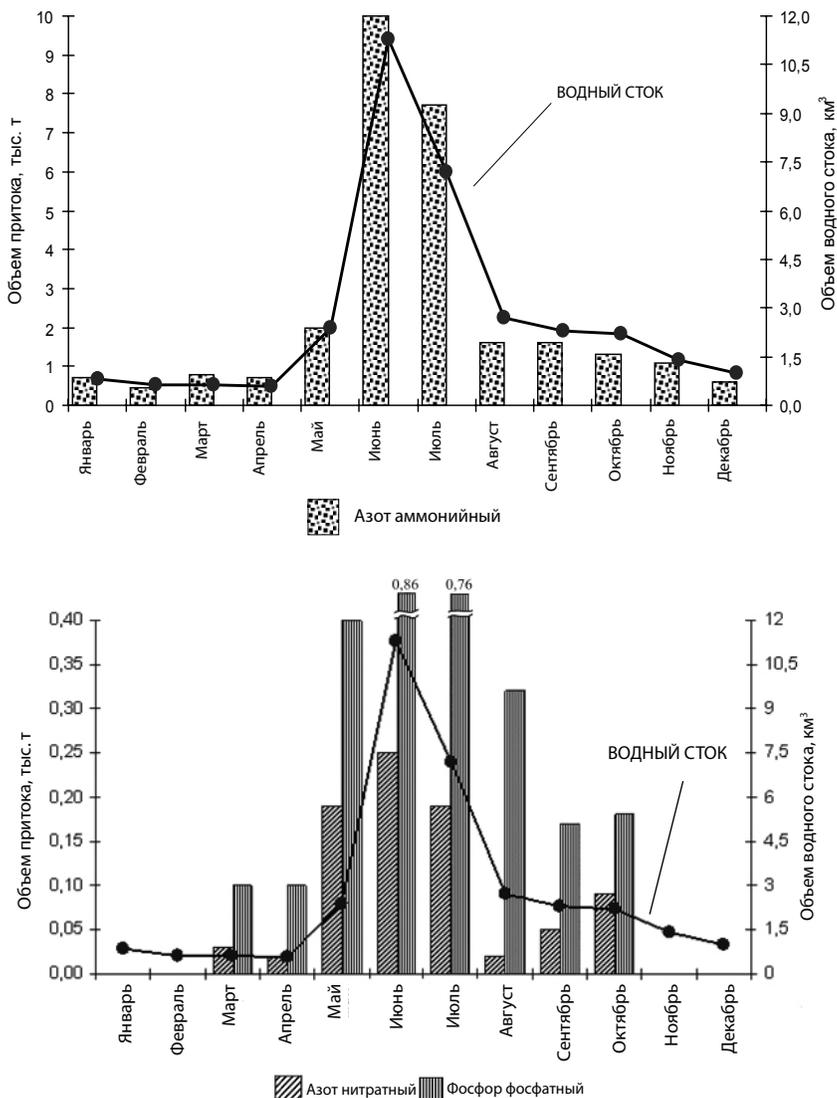


Рис. 28. Внутригодовая изменчивость среднееголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Таз

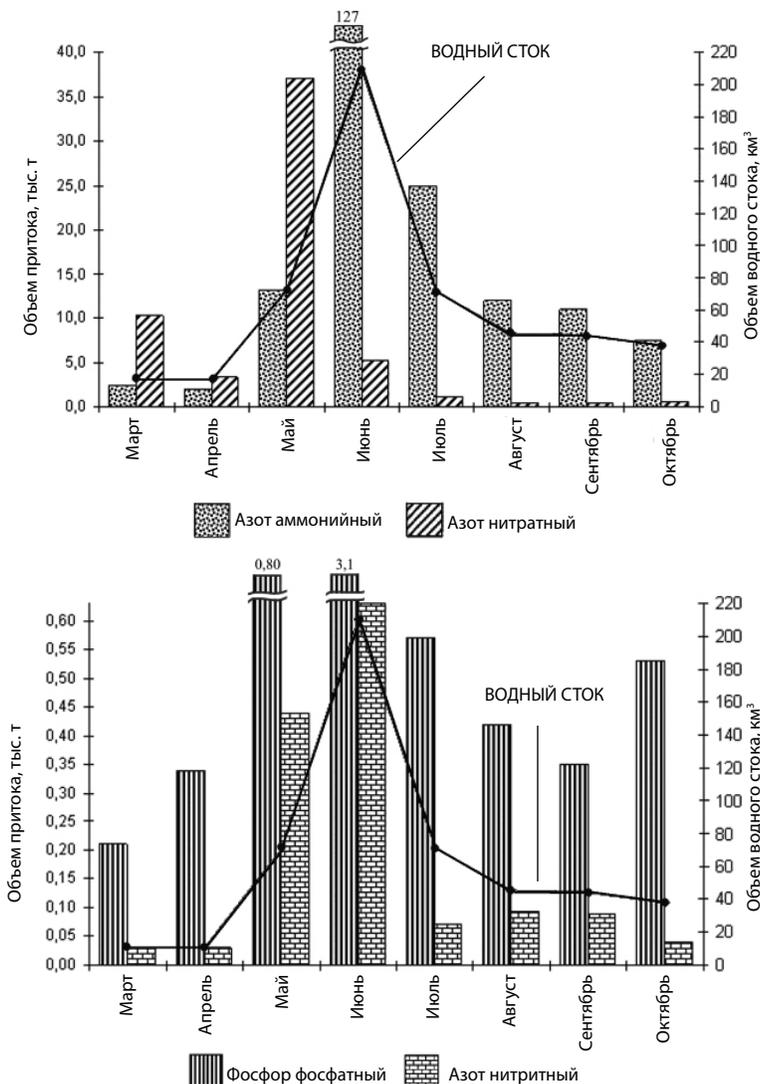


Рис. 29. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Енисей

Значения модулей притока химических веществ на устьевые участки рек бассейна Карского моря приведены в таблице 24. Наибольшая нагрузка на замыкающие створы исследуемых рек, т.е. наибольшие среднемноголетние значения модуля притока химических веществ, отмечены по:

- хлоридам для реки Енисей;
- сульфатам для рр. Пур и Енисей;
- ЛООВ для реки Таз;
- азоту аммонийному, фосфору фосфатному и кремнекислоте, нефтяным углеводородам для рек Пур и Таз;
- соединениям железа, цинка и никеля для реки Пур.

Результаты расчета притока растворенных химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек **бассейна моря Лаптевых** приведены в таблице 25. Высокая пространственная изменчивость объемов притока химических веществ отмечена практически по всем ингредиентам, при этом наибольшими объемами притока характеризуется р. Лена, наименьшими – р. Яна.

Наибольшие различия между минимальными и максимальными значениям притока химических веществ наблюдается по (табл. 25):

- азоту аммонийному, нитратному и фосфору фосфатному для р. Яна;
- азоту нитритному, фенолам, нефтяным углеводородам, соединениям железа, меди и цинка для рек Лена и Яна.

В бассейне моря Лаптевых временная изменчивость компонентного состава притока растворенных химических веществ, поступающих на замыкающие створы исследуемых рек, характеризуется в последние годы для:

- р. Лена – заметным снижением объемов притока минеральных форм азота, фенолов, соединений цинка и меди (рис. 30);
- р. Яна – снижением объемов притока азота нитратного, соединений цинка и соединений меди на фоне повышения притока соединений азота аммонийного (рис. 31).

Таблица 24
Пространственная изменчивость модулей притока химических веществ на устьевые участки рек бассейна Карского моря

Ингредиент	Модуль притока растворенных химических веществ (т/год км ²)									
	р. Обь, г. Салехард	р. Пур, г. Самбург	р. Таз, п. Сидоровск	р. Енисей, г. Игарка	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания
Хлориды	0,282–1,80	0,269–2,07	1,16	0,324–1,28	0,67	1,36–3,46	0,67	1,36–3,46	0,67	1,36–3,46
Сульфаты	0,475–5,76	0,416–5,35	2,64	0,919–2,40	1,57	1,79–4,73	1,57	1,79–4,73	1,57	1,79–4,73
ЛООВ по ВПК _c	0,133–0,569	нет данных		0,480–1,18	0,849	0,119–0,711	0,849	0,119–0,711	0,849	0,119–0,711
Азот аммонийный	0,056–0,200	0,096–0,475	0,279	0,102–0,377	0,258	0,023–0,133	0,258	0,023–0,133	0,258	0,023–0,133
Азот нитритный	0,001–0,006	0,0008–0,015	0,004	0,001–0,008	0,003	0*–0,001	0,003	0*–0,001	0,003	0*–0,001
Азот нитратный	0,006–0,048	0–0,069	0,017	0,0003–0,040	0,015	0–0,072	0,015	0–0,072	0,015	0–0,072
Фосфор фосфатный	0,005–0,047	0,005–0,065	0,036	0,019–0,081	0,035	0–0,006	0,035	0–0,006	0,035	0–0,006
Кремниевая кислота	0,248–1,71	0,587–2,49	1,44	0,842–2,65	1,56	0,471–1,73	1,56	0,471–1,73	1,56	0,471–1,73
Фенолы	0–0,002	0–0,003	0,001	0–0,004	0,002	0,0003–0,004	0,002	0,0003–0,004	0,002	0,0003–0,004
Нефтеяные углеводороды	0,035–0,259	0,048–0,390	0,168	0,066–0,269	0,171	0,023–0,389	0,171	0,023–0,389	0,171	0,023–0,389
Соединения железа	0,092–0,403	0,343–0,933	0,574	0,110–0,752	0,373	0,017–0,190	0,373	0,017–0,190	0,373	0,017–0,190
Соединения меди	0,0004–0,003	0–0,019	0,003	0–0,005	0,002	0,0003–0,004	0,002	0,0003–0,004	0,002	0,0003–0,004
Соединения цинка	0,0001–0,008	0,002–0,038	0,014	0,0002–0,019	0,006	0,004–0,014	0,006	0,004–0,014	0,006	0,004–0,014
Соединения никеля	0–0,003	0–0,037	0,004	0–0,001	0,004	0–0,0005	0,004	0–0,0005	0,004	0–0,0005

Примечание: * модуль притока равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

Таблица 25

Пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек бассейна моря Лаптевых

Ингредиент	Объем притока растворенных химических веществ (тыс. т в год)			
	р. Лена, с. Кюсюр		р. Яна, п.ст. Юбилейная	
	диапазон колебания	средне-голетний	диапазон колебания	средне-голетний
Хлориды	2898–20817	9912	53,6–512	177
Сульфаты	4880–23292	9773	142–1221	535
ЛООВ (по БПК ₅)	350–1615	1137	21,4–155	75,6
Азот аммонийный	10,2–97,9	39,7	0,510–12,0	2,69
Азот нитритный	0,428–4,46	1,95	0,011–0,402	0,178
Азот нитратный	13,7–56,1	26,6	0,071–5,58	1,68
Фосфор фосфатный	1,20–7,90	3,68	0,030–1,13	0,32
Кремнекислота	530–2284	1091	28,0–167	91,0
Фенолы	0,224–4,56	1,88	0,007–0,377	0,142
Нефтяные углеводороды	2,54–102	39,7	0,308–6,68	2,59
Соединения железа	15,7–685	253	3,14–63,5	29,5
Соединения меди	0,762–7,29	2,43	0,053–0,614	0,191
Соединения цинка	0,747–15,5	5,91	0,050–1,16	0,45
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Анализ результатов расчета ежемесячных среднеголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений показал, что максимальные их количества поступают на замыкающий створ р. Лена в июне (рис. 32), р. Яна – в июне-августе (рис. 33).

Для внутригодового распределения объемов притока кремнекислоты характерна максимальная доля поступлений на замыкающий створ р. Лена в июне-сентябре (85 %), р. Яна – в июне-августе (76 %) (табл. 26).

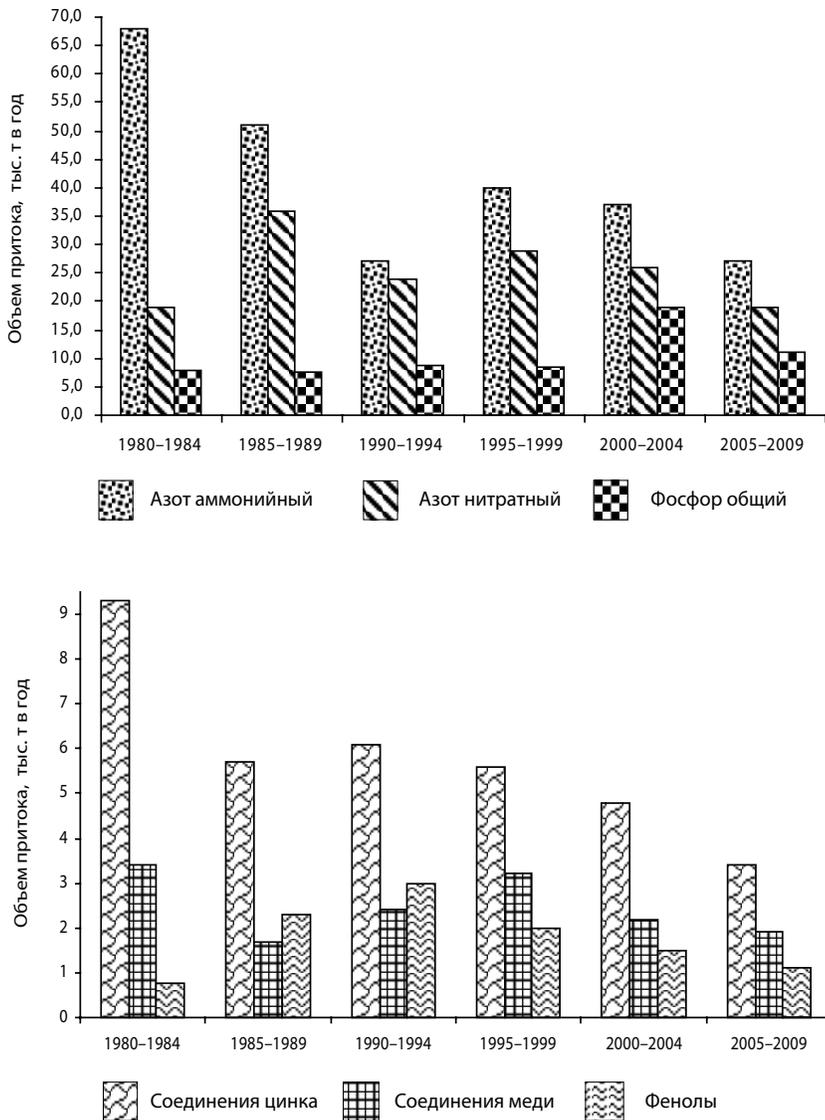


Рис. 30. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Лена

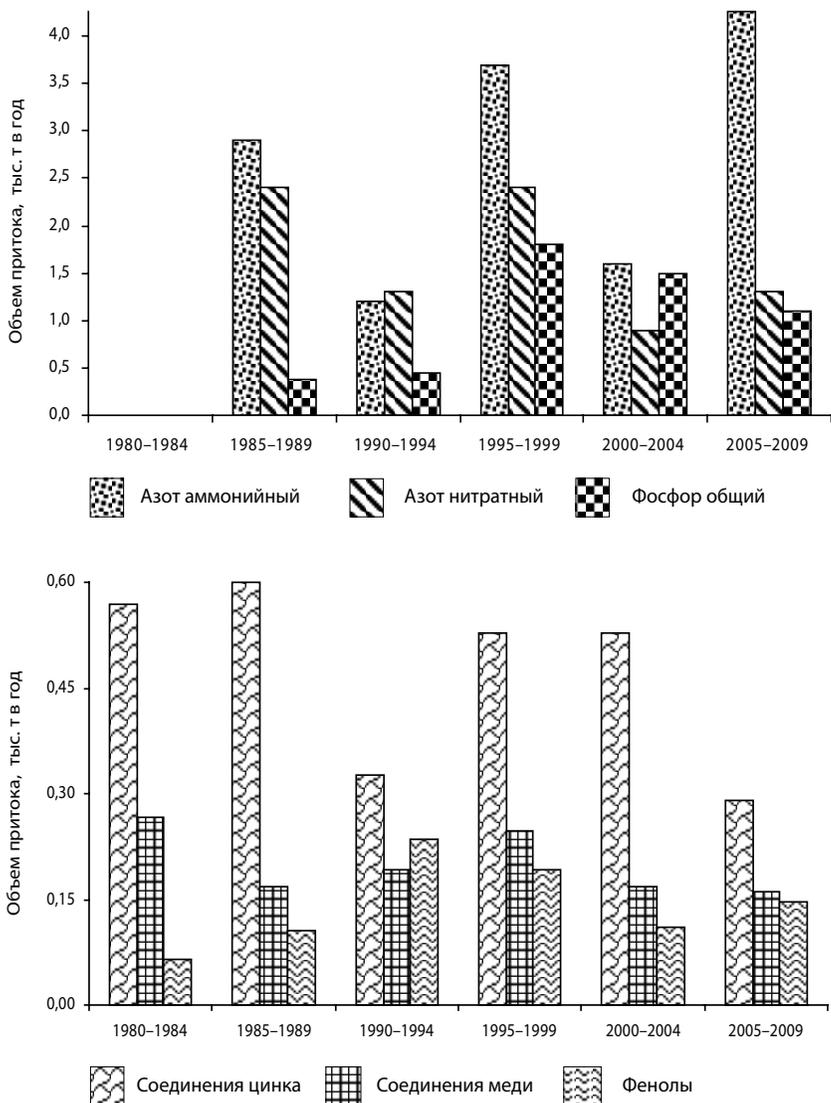


Рис. 31. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Яна

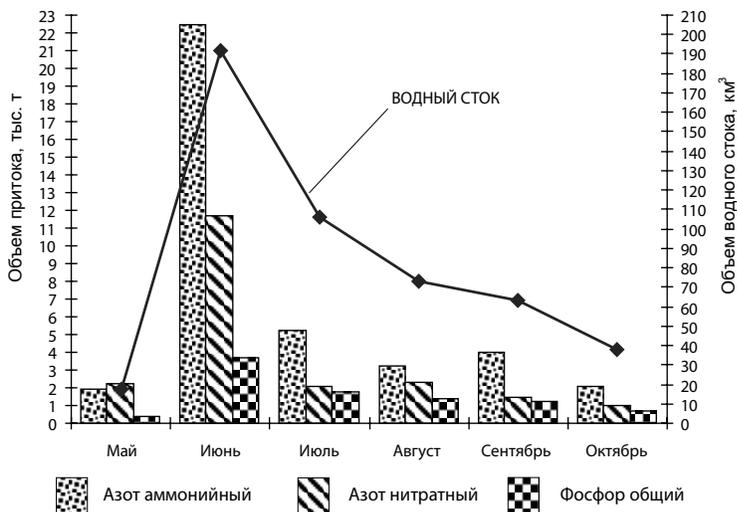


Рис. 32. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Лена

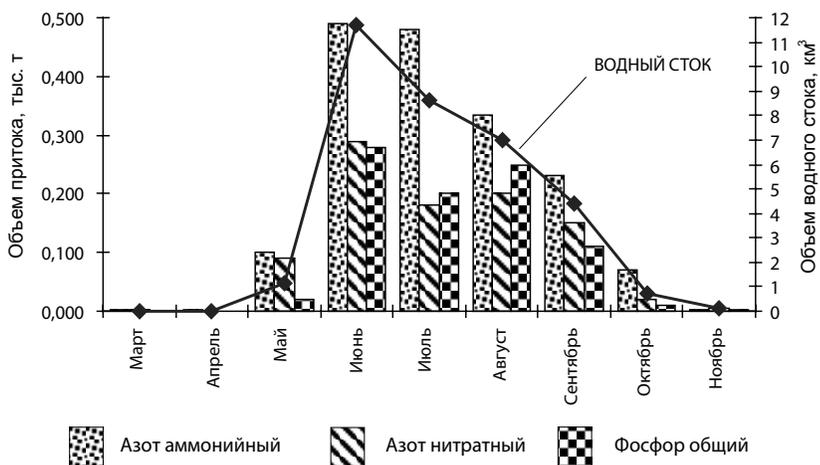


Рис. 33. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Яна

Таблица 26

Внутригодовая изменчивость объемов притока кремнекислоты на устьевые участки рек Лена и Яна

Месяц	Среднегодовое значение объемов притока, тыс. т	
	р. Лена, с. Кюсюр	р. Яна, п.ст. Юбилейная
Март		0,001
Апрель		0,005
Май	47,7	4,02
Июнь	340	17,8
Июль	203	15,1
Август	122	13,0
Сентябрь	113	8,51
Октябрь	80,6	1,49
Ноябрь		0,248

Примечание: пустая клетка означает отсутствие данных по водному стоку или содержанию кремнекислоты.

Диапазоны колебания и среднегодовые значения модулей притока химических веществ на устьевые участки рек бассейна моря Лаптевых даны в таблице 27. Анализ представленных значений по замыкающим створам исследуемых рек показал, что наименьшие значения характерны для устьевой экосистемы реки Яна, а наибольшие (кроме соединений железа) – реки Лена. Таким образом, суммарную наименьшую нагрузку по притоку химических веществ испытывает устье Яны, наибольшую – Лены.

Однако по большинству показателей среднегодовые значения модулей притока близки и четкие различия в нагрузке можно ожидать только по притоку хлоридов и сульфатов.

Данные по объемам притока растворенных химических веществ на замыкающие створы рек **бассейна Восточно-Сибирского** моря приведены в таблице 28. Отмечается высокая пространственная изменчивость объемов притока только для хлоридов и соединений железа, по всем остальным ингредиентам значения среднегодовых объемов притока растворенных химических веществ близки (различаются в 2 раза и менее).

Наибольшая вариабельность значений притока (различие между минимальным и максимальным значением) наблюдается по:

– хлоридам, сульфатам, азоту аммонийному, фосфору фосфатному, фенолам, нефтяным углеводородам и соединениям железа для р. Индигирка;

– азоту аммонийному, нитратному, соединениям железа, меди и цинка для реки Колыма.

Таблица 27

Изменчивость модулей притока химических веществ на устьевые участки рек бассейна моря Лаптевых

Ингредиент	Модуль притока растворенных химических веществ (т/км ² в год)			
	р. Лена, с. Кюсюр		р. Яна, п.ст. Юбилейная	
	диапазон колебания	среднепогоде	диапазон колебания	среднепогоде
Хлориды	1,19–8,57	4,08	0,239–2,28	0,79
Сульфаты	2,01–9,59	4,02	0,634–5,45	2,39
ЛООВ по БПК ₅	0,144–0,665	0,458	0,096–0,692	0,338
Азот аммонийный	0,004–0,040	0,016	0,002–0,029	0,011
Азот нитритный	0,0002–0,002	0,0008	0,00005–0,002	0,0007
Азот нитратный	0,006–0,023	0,011	0,001–0,025	0,008
Фосфор фосфатный	0,0005–0,003	0,002	0,0001–0,004	0,001
Кремнекислота	0,286–0,940	0,451	0,125–0,746	0,383
Фенолы	0,0001–0,002	0,0008	0,00003–0,002	0,0006
Нефтяные углеводороды	0,005–0,042	0,016	0,001–0,030	0,012
Соединения железа	0,007–0,282	0,101	0,014–0,283	0,143
Соединения меди	0,0003–0,003	0,001	0,0002–0,003	0,001
Соединения цинка	0,0003–0,006	0,002	0,0002–0,005	0,002
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Таблица 28

Изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек бассейна Восточно-Сибирского моря

Ингредиент	Объем притока растворенных химических веществ (тыс. т в год)			
	р. Индигирка, пос. Чокурдах		р. Колыма, г. Среднеколымск	
	диапазон колебания	средне- много- летний	диапазон колебания	средне- много- летний
Хлориды	48,2–1225	221	28,6–144	76,6
Сульфаты	82,8–2033	727	359–1257	797
ЛООВ (по БПК ₅)	31,8–198	121	25,8–146	68,0
Азот аммонийный	2,51–14,4	5,88	0,240–8,51	3,17
Азот нитритный	0*–0,760	0,124	0–0,711	0,159
Азот нитратный	1,25–6,52	3,75	0,659–9,45	2,80
Фосфор фосфатный	0,142–1,77	0,684	0–1,97	0,326
Кремнекислота	71,6–182	111	80,8–351	174
Фенолы	0,047–0,567	0,204	0,065–0,400	0,177
Нефтяные углеводороды	0,523–6,59	2,46	0,989–6,83	3,15
Соединения железа	5,13–199	51,7	1,78–30,4	10,1
Соединения меди	0,042–0,728	0,310	0,065–0,776	0,208
Соединения цинка	0–2,54	0,804	0,253–2,88	0,909
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание: * приток равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

Временная изменчивость притока растворенных химических веществ, поступающих на замыкающие створы исследуемых рек, характеризуется для:

– р. Индигирка повышенным поступлением кремнекислоты и легкоокисляемых органических веществ за весь исследуемый период, снижением притока соединений железа и азота аммонийного в новом тысячелетии (рис. 34);

– р. Колыма резким повышением объемов притока минеральных форм азота и соединений меди (рис. 35).

Довольно различен характер внутригодового распределения объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на замыкающих створах рек Индигирка и Колыма.

Если в устье р. Индигирка до 67 % объема притока азота аммонийного и 77 % фосфора общего приходится на июнь-июль, а азота нитратного до 84 % на июнь-август (рис. 36), то на замыкающем створе р. Колыма основная доля притока азота аммонийного (56 %), азота нитратного (58 %) и фосфора общего (около 50 %) приходится на июнь (рис. 37).

Основная часть притока кремнекислоты приходится в р. Индигирка на июнь-август до 80 %, а в р. Колыма – 84 % на июнь-сентябрь (табл. 29).

Изменчивость модулей притока растворенных химических веществ на устьевых участках рек Колыма и Индигирка представлена в таблице 30. Результаты расчета и анализа значений модуля притока растворенных химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек показали, что по многим химическим веществам значения модулей близки.

Чуть более значимые отличия отмечены по модулю притока хлоридов, азота аммонийного и фосфора фосфатного для р. Индигирка. Среднемноголетнее значение модуля притока соединений железа на порядок превышает таковое для реки Колымы (табл. 30).

Анализ полученных результатов по пространственной изменчивости среднемноголетних значений модулей притока растворенных химических веществ на замыкающие створы сибирских рек позволил заключить, что наибольшую нагрузку испытывают по (табл. 31):

- хлоридам и сульфатам устьевая экосистема р. Лена;
- легкоокисляемым органическим веществам устьевая экосистема р. Таз;
- азоту аммонийному, фосфору фосфатному, кремнекислоте, нефтяным углеводородам и соединениям железа устьевые экосистем рек Пур и Таз;
- соединениям меди, цинка и никеля устьевая экосистема р. Пур;
- фенолам устьевая экосистема р. Таз.

Таблица 29

Внутригодовая изменчивость объемов притока кремнекислоты на устьевые участки рек Колыма и Индигирка

Река	Среднегодовое значения объемов притока, тыс. т						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Индигирка	0,095	1,90	22,3	26,6	22,1	12,2	3,28
Колыма	1,61	15,9	52,7	30,2	28,6	26,7	9,11

Таблица 30

Значения модулей притока растворенных химических веществ на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря

Ингредиент	Модуль притока растворенных химических веществ (т/км ² в год)			
	р. Индигирка, пос. Чокурдах		р. Колыма, г. Среднеколымск	
	диапазон колебания	средне-годовой	диапазон колебания	средне-годовой
Хлориды	0,168–4,27	0,769	0,079–0,399	0,212
Сульфаты	0,289–7,08	2,53	0,994–3,48	2,21
ЛООВ по БПК ₅	0,111–0,691	0,420	0,072–0,403	0,169
Азот аммонийный	0,003–0,050	0,021	0,0007–0,024	0,008
Азот нитритный	0*–0,003	0,0005	0–0,001	0,0003
Азот нитратный	0,004–0,023	0,013	0,002–0,016	0,006
Фосфор фосфатный	0,0005–0,006	0,003	0–0,006	0,0009
Кремнекислота	0,249–0,634	0,380	0,224–0,971	0,483
Фенолы	0,0002–0,002	0,0007	0,0002–0,001	0,0005
Нефтяные углеводороды	0,002–0,023	0,009	0,003–0,019	0,009
Соединения железа	0,018–0,694	0,208	0,005–0,084	0,027
Соединения меди	0,0002–0,002	0,001	0,0002–0,0008	0,0004
Соединения цинка	0,0004–0,009	0,003	0,0007–0,0080	0,003
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание * модуль притока равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

Таблица 31
 Пространственная изменчивость среднемноголетних модулей притока химических веществ на устьевые участки рек Сибири

Ингредиент	Модуль притока растворенных химических веществ (т/км ² в год)											
	Водосбор Карского моря						Водосбор моря Лаптевых			Водосбор Восточно-Сибирского моря		
	р. Обь	р. Пур	р. Газ	р. Енисей	р. Лена	р. Яна	р. Индигирка	р. Колыма				
Хлориды	1,07	1,16	0,667	2,43	4,08	0,790	0,769	0,212				
Сульфаты	1,65	2,64	1,57	2,86	4,02	2,39	2,53	2,21				
ЛЮОВ	0,280	–	0,849	0,400	0,458	0,338	0,420	0,169				
Азот аммонийный	0,130	0,279	0,258	0,065	0,016	0,011	0,021	0,008				
Азот нитритный	0,0030	0,0040	0,0030	0,0003	0,0008	0,0007	0,0005	0,0003				
Азот нитратный	0,018	0,017	0,015	0,015	0,011	0,008	0,013	0,006				
Фосфор фосфатный	0,013	0,036	0,035	0,002	0,002	0,001	0,003	0,0009				
Кремнекислота	0,578	1,44	1,56	0,741	0,451	0,383	0,580	0,483				
Фенолы	0,0005	0,0010	0,0020	0,0010	0,0008	0,0006	0,0007	0,0005				
Нефтяные углеводороды	0,097	0,168	0,171	0,111	0,016	0,012	0,009	0,009				
Соединения железа	0,199	0,574	0,373	0,086	0,101	0,143	0,208	0,027				
Соединения меди	0,0010	0,0030	0,0020	0,0020	0,0010	0,0010	0,0010	0,0004				
Соединения цинка	0,004	0,014	0,006	0,009	0,002	0,002	0,003	0,003				
Соединения никеля	0,0004	0,004	0,0004	0,0002					нет данных			

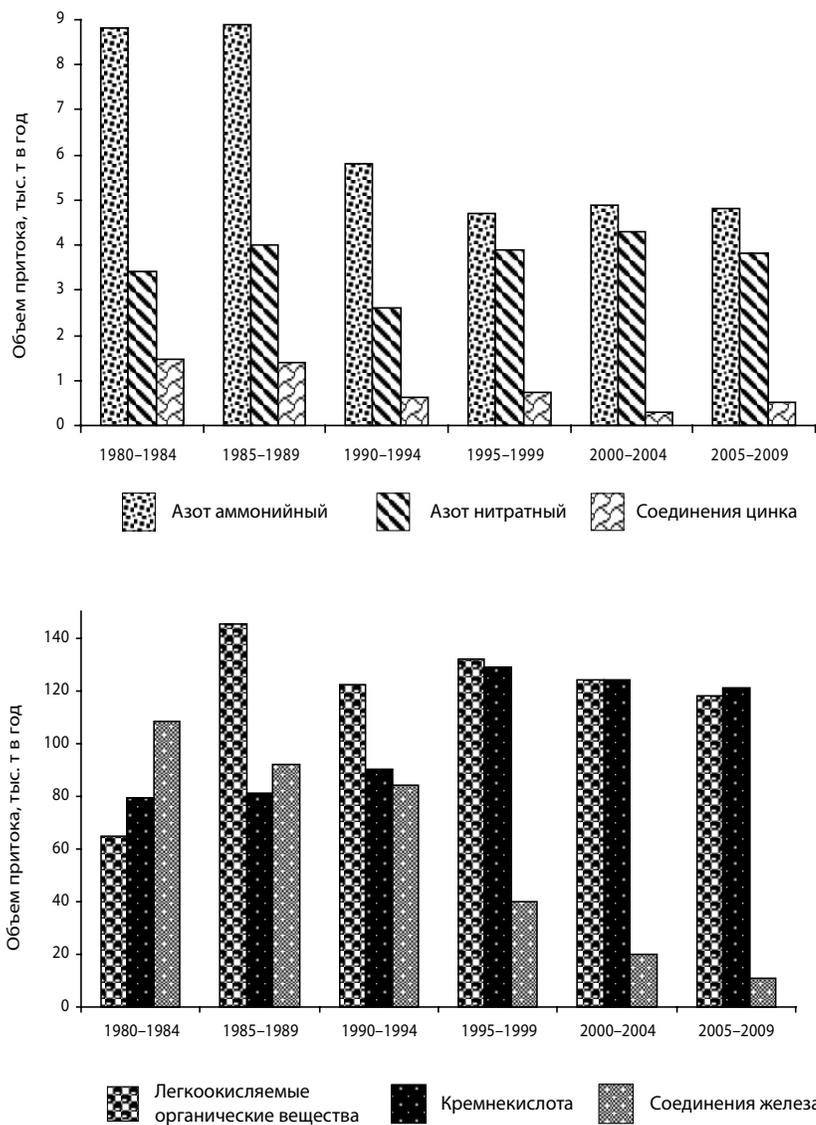


Рис. 34. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Индигирка

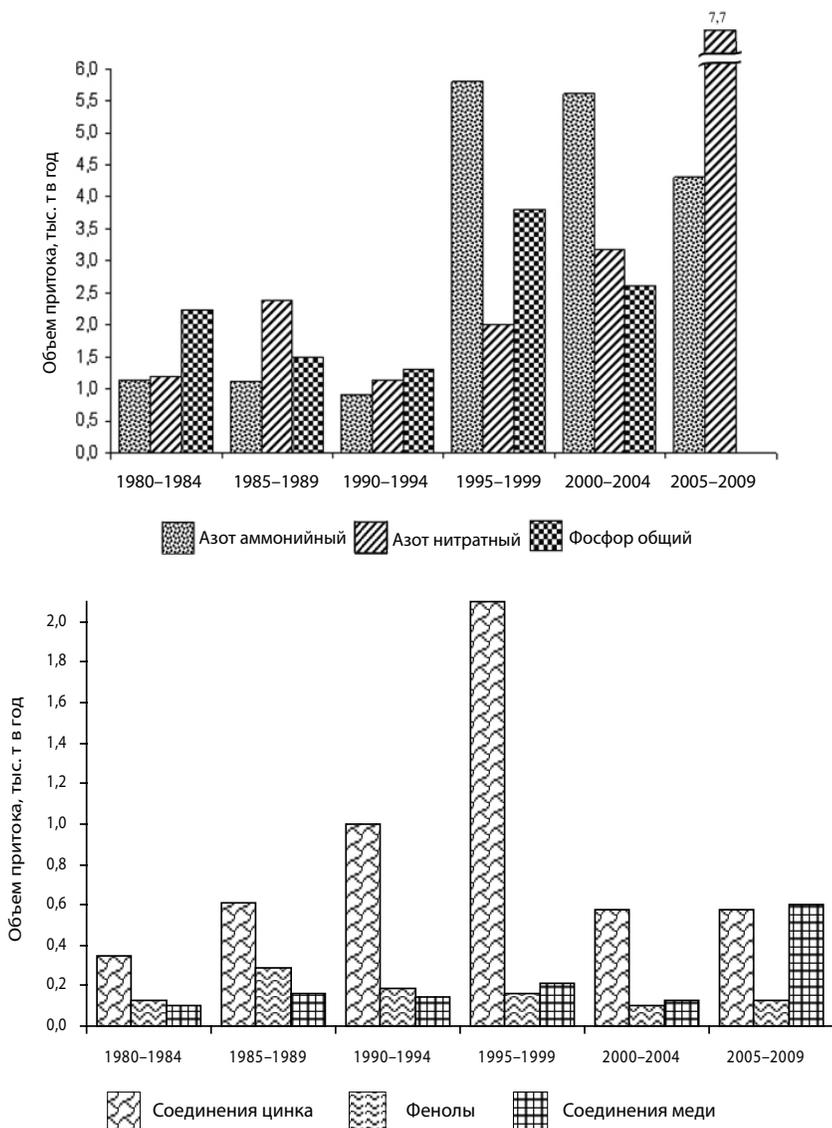


Рис. 35. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Колыма

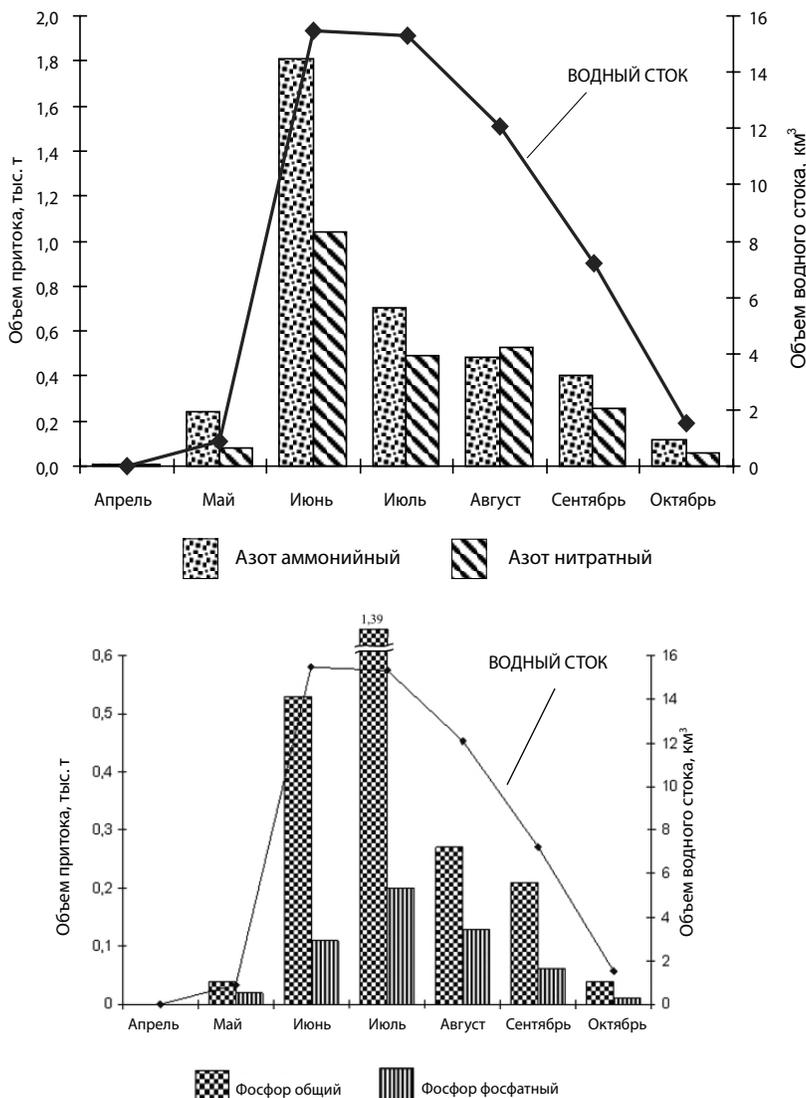


Рис. 36. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Индигирка

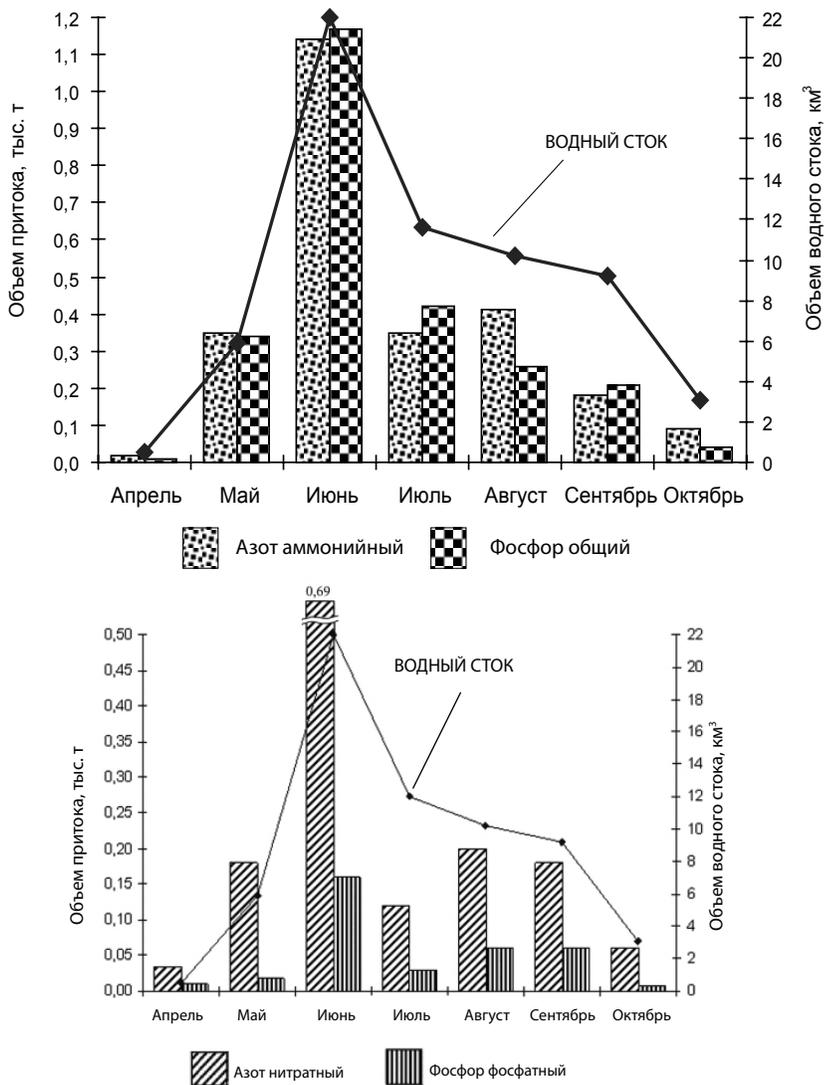


Рис. 37. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на замыкающем створе р. Колыма

4.3. Реки Юга России

Для устьевых участков рек Юга России высокая пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ отмечена практически по всем ингредиентам (табл. 32).

Как и для других рек, определяющим фактором в изменчивости притока химических веществ является водный сток, соответственно наибольшими объемами притока характеризуется р. Волга, наименьшими – рр. Дон и Кубань. Вместе с тем для рр. Дон и Кубань по ряду химических веществ эта закономерность нарушается. Для соединений азота нитратного, азота аммонийного и нефтяных углеводородов наименьшие значения притока отмечены для более водной реки Дон.

Наибольший размах колебаний между минимальным и максимальным значениями притока наблюдается по (табл. 32):

- азоту нитритному, нитратному, фосфору фосфатному, кремнекислоте, фенолам и нефтяным углеводородам для реки Волга;
- фосфору фосфатному и соединениям меди для реки Дон;
- нефтяным углеводородам и соединениям цинка для реки Кубань.

Столь же значительна и временная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек.

Рассмотренная по пятилетиям изменчивость компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих на устьевой участок р. Волга, характеризуется в последние годы тенденцией снижения поступления хлоридов, азота аммонийного, азота нитритного, соединений цинка (рис. 38) на фоне повышения притока сульфатов и соединений железа.

Для устьевого участка р. Дон характерна тенденция увеличения поступления в новом тысячелетии азота аммонийного, фосфора фосфатного, кремнекислоты и легкоокисляемых органических веществ при уменьшении притока соединений меди, цинка, фенолов и нефтяных углеводородов (рис. 39).

Для замыкающего створа р. Кубань характерно снижение притока нефтяных углеводородов на фоне постоянно высокого поступления азота аммонийного и легкоокисляемых органических веществ (рис. 40).

Таблица 32
Пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ на замыкающие створы рек Юга России

Ингредиент	Объем притока химических веществ (тыс. т в год)					
	р. Волга, с. Верхнее Лебяжье		р. Дон, ст. Раздорская		р. Кубань, х. Тиховский	
	общий диапазон	средне-многолетний	общий диапазон	средне-многолетний	общий диапазон	средне-многолетний
Хлориды	5757–11663	8765	1287–4666	2686	207–527	336
Сульфаты	12341–34298	17859	1704–6514	3603	1005–1597	1275
ЛООВ по БПК ₅	492–1261	777	21,2–171	62,3	8,44–28,1	17,2
Азот аммонийный	0,518–48,9	15,3	0*–5,55	1,84	1,26–6,02	3,16
Азот нитритный	1,03–21,9	7,37	0,269–2,15	0,82	0,147–0,403	0,275
Азот нитратный	14,9–167	84,9	0–12,9	4,84	6,38–47,2	27,7
Фосфор фосфатный	1,16–25,3	7,32	0,320–3,88	1,47	0,060–0,49	0,26
Кремнекислота	93,5–1121	603	30,1–136	69,9	18,1–52,0	37,5
Фенолы	0,224–3,10	0,827	0–0,048	0,014	0,0006–0,036	0,018
Нефтяные углеводороды	8,57–178	58,0	1,12–3,03	1,95	1,11–10,1	3,25
Соединения железа	1,29–143	41,0	1,18–6,01	3,72	1,87–6,74	3,67
Соединения меди	0–4,83	1,93	0,003–0,228	0,090	0,012–0,053	0,027
Соединения цинка	0–19,3	7,80	0,040–0,306	0,153	0,019–0,220	0,120
Соединения никеля	0,415–3,58	1,56	нет данных			

Примечание: *приток равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

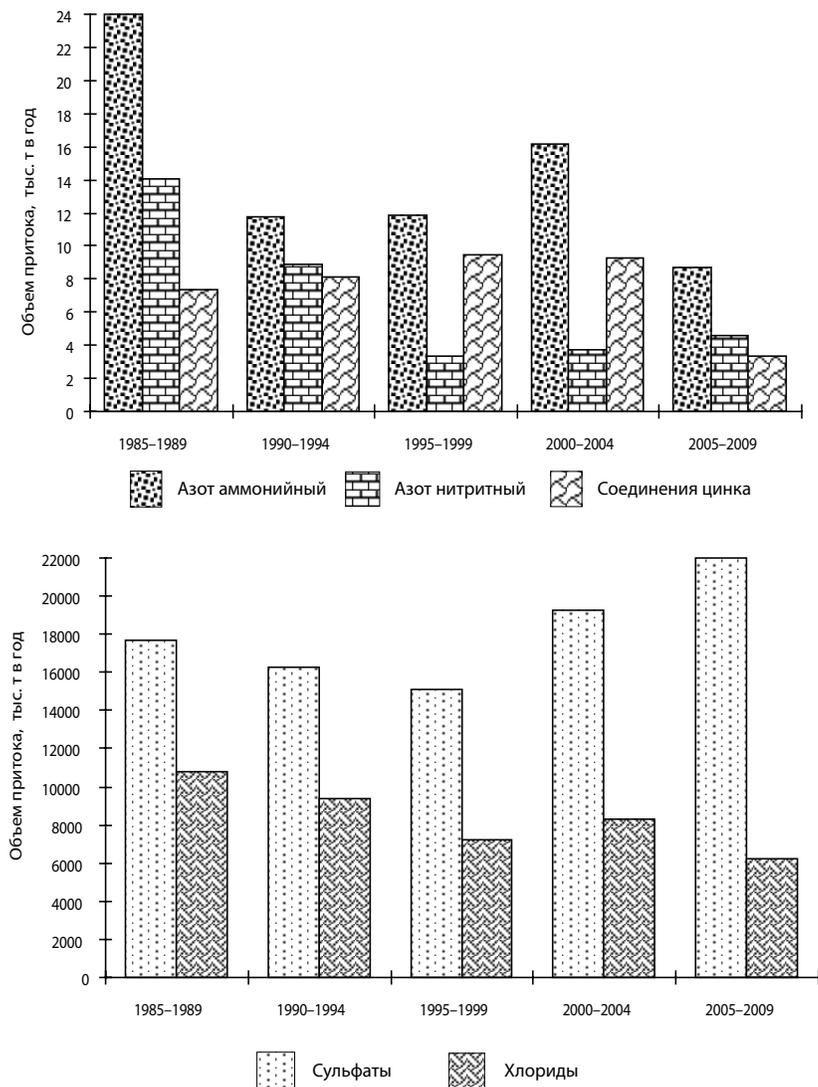


Рис. 38. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Волга

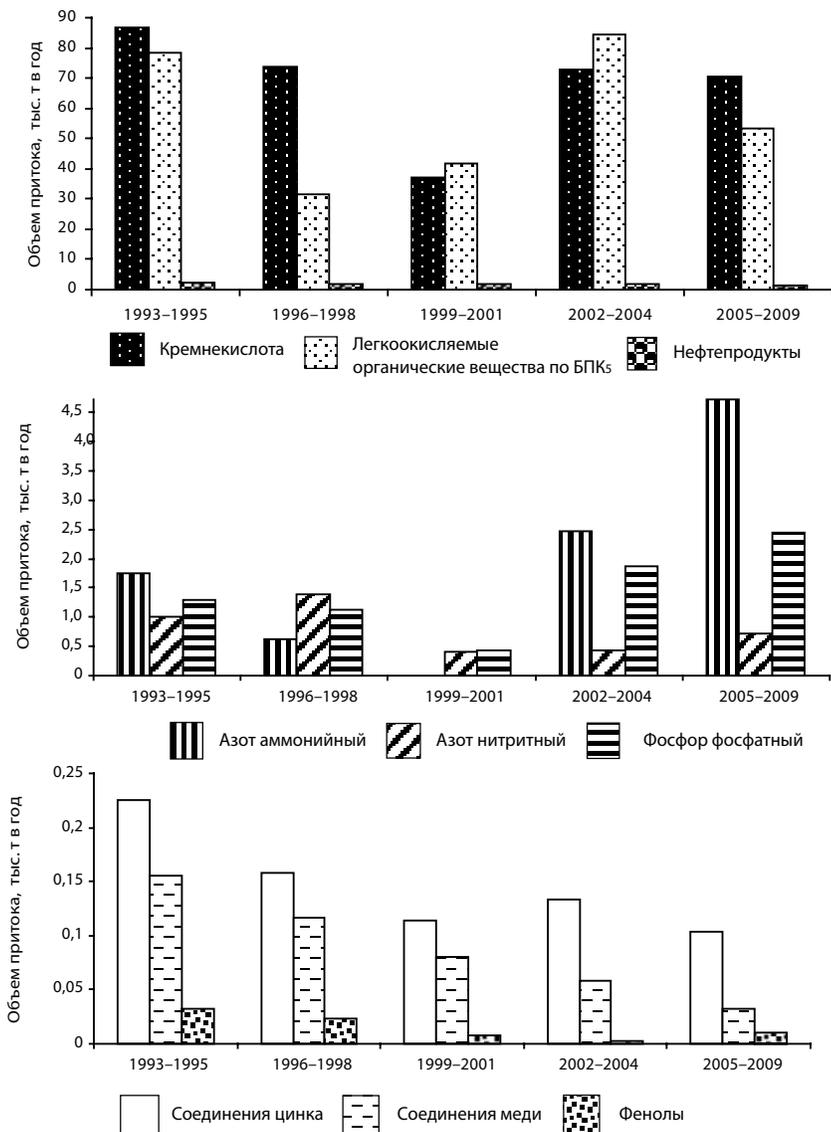


Рис. 39. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Дон

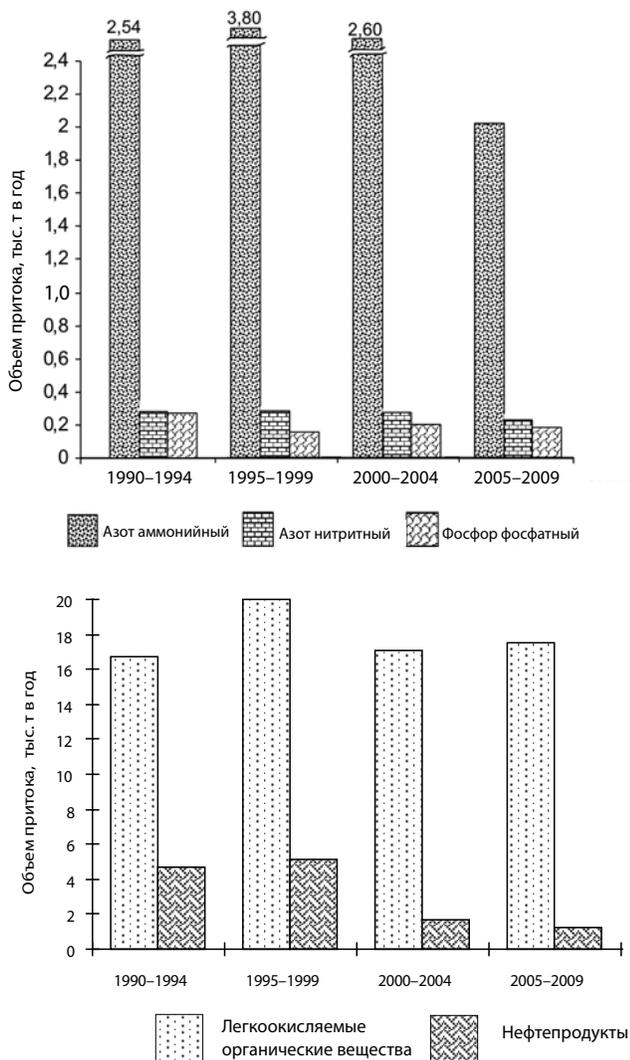


Рис. 40. Временная изменчивость средних значений объемов притока растворенных химических веществ на устьевой участок р. Кубань

Поскольку режим биогенных элементов в водных экосистемах подчиняется естественной внутригодовой изменчивости содержания, нами рассмотрена внутригодовая динамика объемов их притока по многолетним данным.

Установлено, что в течение года на замыкающие створы рек наибольшее количество годового притока биогенных веществ поступает в устье р. Волга в период с апреля по июль (53–77 %), р. Кубань – с апреля по июль (46–52 %) (рис. 41, 42). В устьевой области р. Дон приток минеральных форм азота и фосфора более равномерен в течение года (рис. 43).

Диапазоны колебания и среднемноголетние значения модулей притока химических веществ на устьевые участки рек Юга России даны в таблице 33. Анализ представленных данных показал, что наименьшие значения характерны для устьевой экосистемы реки Дон. Наибольшие – для р. Волга по легкоокисляемым органическим веществам, фенолам и соединениям меди и для р. Кубань по азоту аммонийному и нитратному, нефтяным углеводородам, соединениям железа и цинка. Таким образом, суммарную наименьшую нагрузку по притоку химических веществ испытывает устье р. Дон.

По таким ингредиентам, как хлориды, сульфаты, азот нитритный, фосфор фосфатный и кремнекислота, несмотря на различия в водности рек, устьевые участки реки испытывают одинаковую нагрузку по их притоку.

Таблица 33
 Пространственная изменчивость модулей притока химических веществ на устьевые участки рек Юга России

Ингредиент	Модуль притока химических веществ, т/км ² в год					
	р. Волга, с. Верхнее Лебяжье		р. Дон, ст. Раздорская		р. Кубань, х. Тиховский	
	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания	средне-многолетний
Хлориды	4,22–8,58	6,45	3,40–12,7	7,12	3,61–9,19	5,86
Сульфаты	9,07–25,2	13,1	4,51–17,2	9,57	17,5–27,9	22,2
ЛООВ (по БПК ₅)	0,362–0,927	0,570	0,056–0,450	0,165	0,146–0,485	0,297
Азот аммонийный	0,0004–0,036	0,011	0,004–0,015	0,008	0,022–0,104	0,054
Азот нитритный	0,0008–0,016	0,005	0,001–0,006	0,002	0,002–0,007	0,005
Азот нитратный	0,011–0,177	0,062	0,013–0,034	0,021	0,110–0,815	0,478
Фосфор фосфатный	0,0009–0,019	0,006	0,001–0,010	0,004	0,001–0,008	0,004
Кремнекислота	0,069–0,824	0,443	0,080–0,360	0,185	0,316–0,908	0,654
Фенолы	0,0002–0,0023	0,0006	0*–0,0001	0,00006	0,00001–0,0006	0,0003
Нефтяные углеводороды	0,006–0,151	0,006	0,003–0,008	0,005	0,019–0,174	0,056
Соединения железа	0,001–0,105	0,030	0,003–0,016	0,010	0,032–0,116	0,063
Соединения меди	0–0,036	0,0014	0,00001–0,0006	0,0002	0,0002–0,0009	0,0005
Соединения цинка	0–0,014	0,006	0,0001–0,0008	0,0004	0,0003–0,0038	0,0021

Примечание: * модуль притока равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

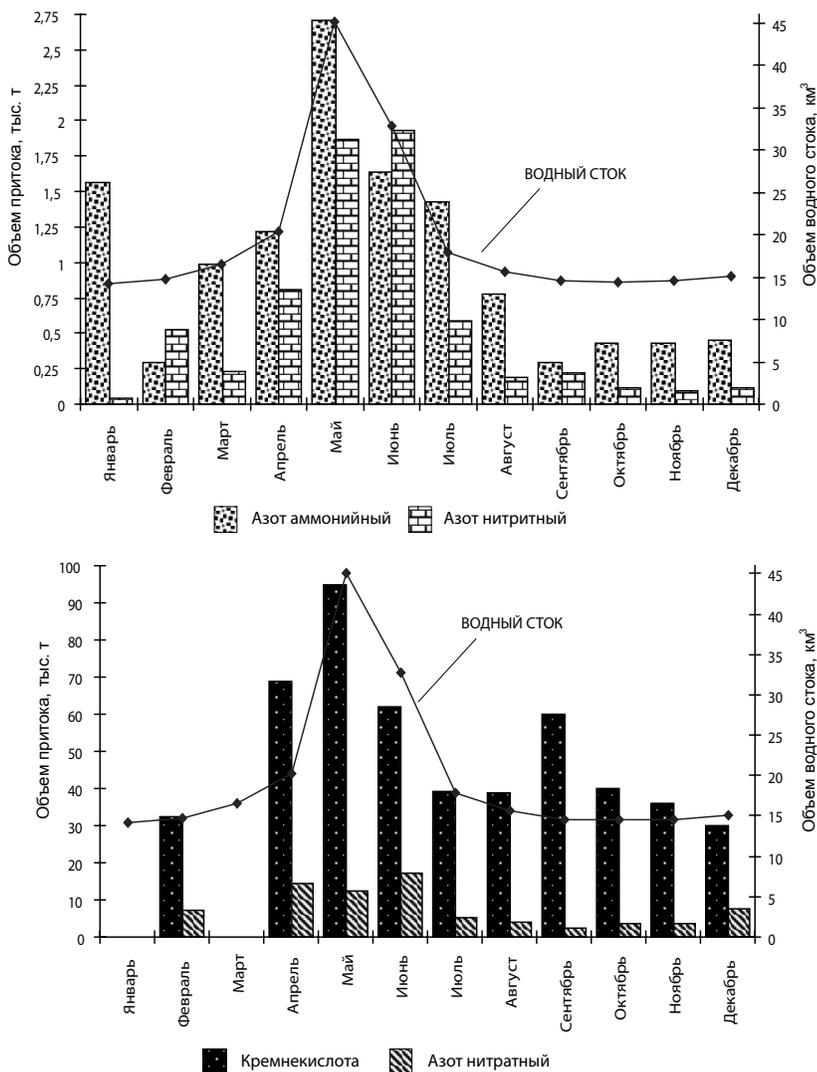


Рис. 41. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Волга

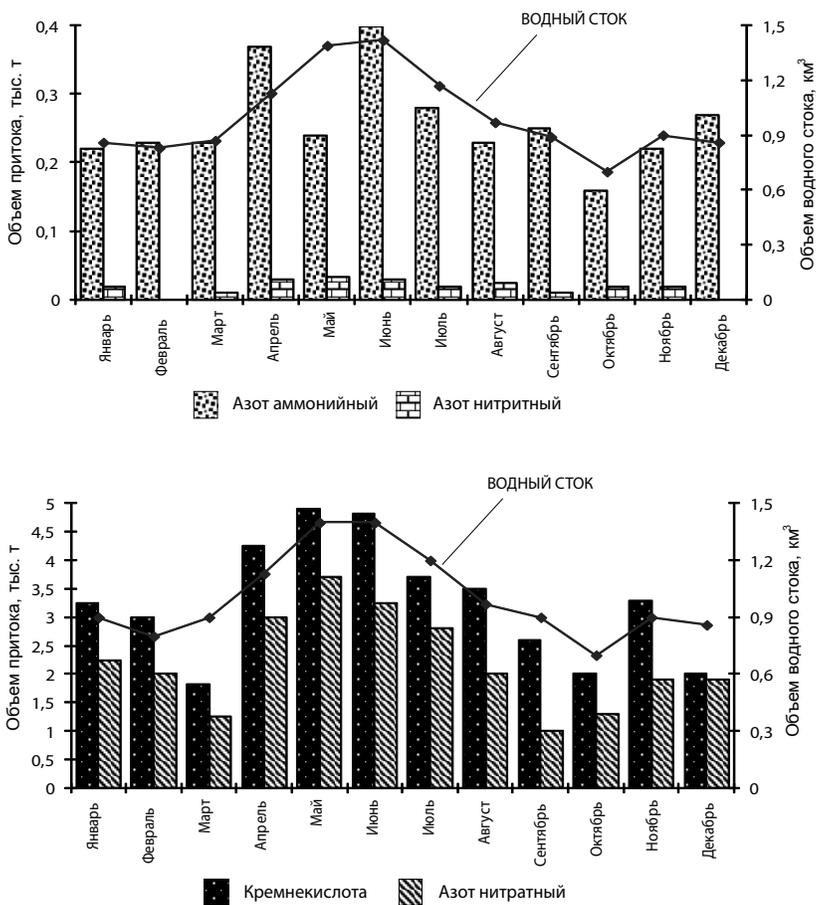


Рис. 42. Внутригодовая изменчивость среднемноголетних объемов притока азотсодержащих соединений и кремниевой кислоты на устьевой участок р. Кубань

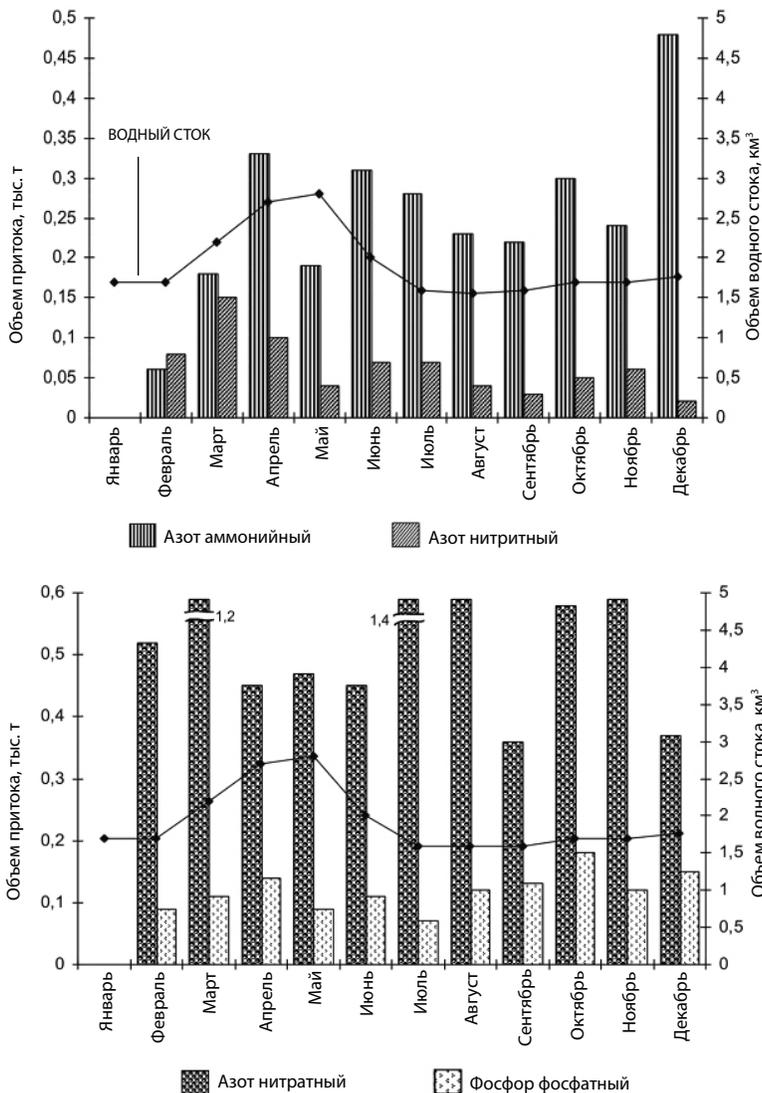


Рис. 43. Внутригодовая изменчивость среднегодовых объемов притока азот- и фосфорсодержащих соединений на устьевой участок р. Дон

1.4. Реки Дальнего Востока

Для устьевых областей рек Дальнего Востока также характерна высокая пространственная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ. Диапазоны колебания и среднегодовые значения по замыкающим створам рек приведены в таблице 34. Очевидно, что наибольшими объемами притока химических веществ характеризуется р. Амур, наименьшим – р. Камчатка.

По соединениям азота аммонийного, азота нитритного и нитратного, фенолам, нефтяным углеводородам, соединениям меди и цинка наибольшая межгодовая изменчивость значений их притока отмечена для устьевого участка р. Амур, по фенолам и соединениям железа – р. Камчатка (табл. 34).

Временная изменчивость компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих на замыкающие створы исследуемых рек, характеризуется в новом тысячелетии устойчивой тенденцией повышения в реке:

– Амур – притока нефтяных углеводородов на фоне снижения поступления сульфатов, кремнекислоты, ЛООВ и соединений цинка (рис. 44);

– Камчатка – притока соединений меди на фоне снижения поступления соединений цинка, азота нитритного и аммонийного (рис. 45).

Диапазоны колебания и среднемноголетние значения модулей притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек Дальнего Востока приведены в таблице 35.

По большинству рассмотренных химических веществ наименьшие значения модулей притока характерны для устьевой экосистемы реки Амур, исключение составляют азот аммонийный, нитритный, соединения меди и цинка, поступление которых значительно превышает их приток в устье р. Камчатка.

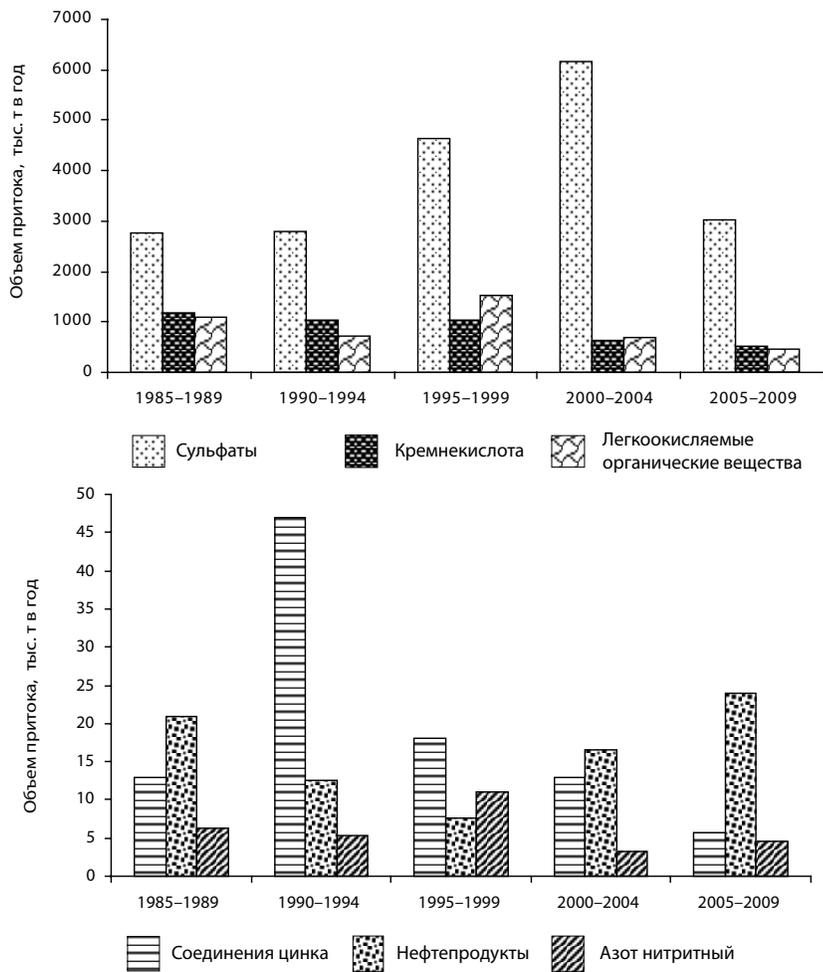
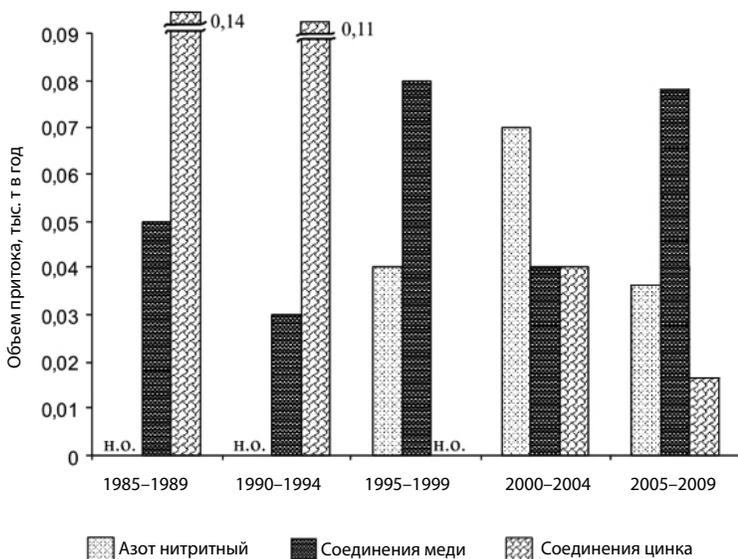
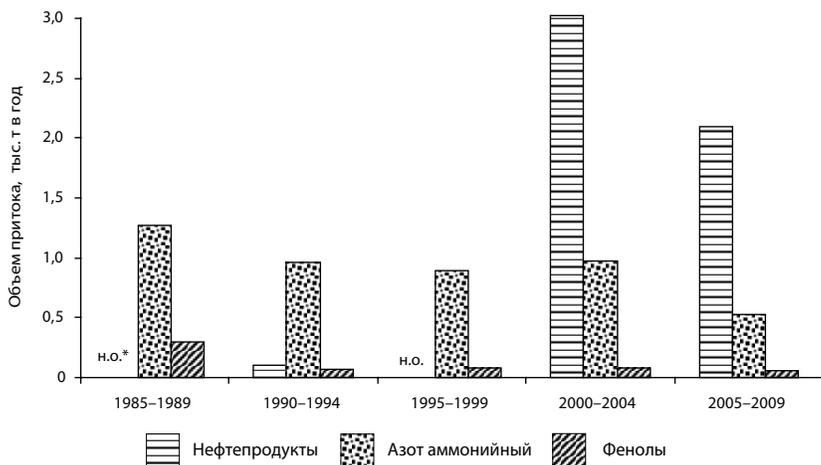


Рис. 44. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Амур



* н.о. – ниже предела обнаружения

Рис. 45. Временная изменчивость средних за исследуемые периоды объемов притока химических веществ на устьевой участок р. Камчатка

Таблица 34

Пространственная изменчивость объемов притока химических веществ на устьевые участки рек Дальнего Востока

Ингредиент	Объем притока химических веществ (тыс. т в год)			
	р. Амур, с. Богородское		р. Камчатка, г. Ключи	
	общий диапазон	средне-много-летний	общий диапазон	средне-много-летний
Хлориды	681–4336	1705	65,9–127	99,4
Сульфаты	1936–12122	3556	108–361	196
ЛООВ (по БПК ₅)	382–3185	937	15,0–36,9	25,1
Азот аммонийный	60,9–882	199	0,287–1,65	0,934
Азот нитритный	0,580–24,0	6,32	0*–0,155	0,030
Азот нитратный	12,6–158	46,3	0,927–3,81	2,12
Фосфор фосфатный	4,48–41,7	17,4	0,784–2,41	1,32
Кремнекислота	263–1624	930	208–350	264
Фенолы	0,128–6,43	1,95	0,037–1,14	0,075
Нефтяные углеводороды	0–65,2	15,9	0–16,3	3,41
Соединения железа	93,1–689	235	0,12–31,8	11,1
Соединения меди	0,670–29,4	7,24	0–0,117	0,053
Соединения цинка	1,57–107	20,5	0–0,152	0,091
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание: * приток равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения.

Таблица 35

Пространственная изменчивость модулей притока химических веществ на замыкающие створы рек Дальнего Востока

Ингредиент	Модуль притока химических веществ, тыс. т в год			
	р. Амур, с. Богородское		р. Камчатка, г. Ключи	
	диапазон колебания	средне-много-голетний	диапазон колебания	средне-много-голетний
Хлориды	0,380–2,42	0,95	1,45–2,78	2,18
Сульфаты	1,08–6,77	1,99	2,37–7,92	4,30
ЛООВ по БПК ₅	0,213–1,78	0,523	0,329–0,809	0,550

Окончание таблицы 35

Азот аммонийный	0,034–0,493	0,111	0,006–0,036	0,020
Азот нитритный	0,0003–0,013	0,004	0*–0,003	0,0007
Азот нитратный	0,007–0,088	0,026	0,020–0,084	0,046
Фосфор фосфатный	0,003–0,023	0,010	0,017–0,053	0,030
Кремнекислота	0,147–0,907	0,519	4,56–7,68	5,79
Фенолы	0,0001–0,004	0,001	0,0001–0,025	0,002
Нефтяные углеводороды	0–0,031	0,009	0–0,281	0,043
Соединения железа	0,052–0,385	0,131	0,0027–0,697	0,243
Соединения меди	0,0004–0,016	0,004	0–0,003	0,001
Соединения цинка	0,0009–0,060	0,011	0–0,003	0,002
Соединения никеля	нет данных		нет данных	

Примечание: * модуль притока равен нулю в случае, когда значения концентраций веществ ниже предела обнаружения; прочерк означает отсутствие информации.

Значительное превышение модуля притока в устье р. Камчатка по сравнению с Амуром отмечено по хлоридам, кремнекислоте и нефтяным углеводородам. Таким образом, суммарную наименьшую нагрузку по притоку химических веществ испытывает устье р. Амур.

По ряду показателей, таких как сульфаты, ЛООВ, азот нитратный, фосфору фосфатному, фенолам и соединениям железа, модули притока различаются менее, чем в 2–3 раза по среднеголетним значениям. Это может свидетельствовать, что устьевые участки рек Амур и Камчатка испытывают примерно одинаковую нагрузку по притоку химических веществ (табл. 35).

Обобщение приведенных выше данных по межсистемной изменчивости среднемноголетних модулей притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока дает основание заключить, что **наибольшую нагрузку** испытывают устьевые области рек (табл. 31, 36):

- Волга и Дон по хлоридам;
- Онега, Северная Двина, Волга, Кубань по сульфатам;
- Печора по легкоокисляемым органическим веществам, кремнекислоте и соединениям цинка;
- Обь, Пур, Таз по азоту аммонийному;
- Волга по азоту нитритному;
- Кубань по азоту нитратному;
- Пур, Таз, Камчатка по фосфору фосфатному и кремнекислоте;
- Печора, Пур, Таз, Енисей, Амур по фенолам;
- Пур, Таз и Енисей по нефтяным углеводородам;
- Печора, Пур, Таз, Индигирка, Камчатка по соединениям железа;
- Пур и Амур по соединениям меди и цинка;
- Пур по соединениям никеля.

Таким образом, значительная пространственная, межгодовая и внутригодовая изменчивость объемов притока растворенных химических веществ в устьевые области исследуемых крупных рек России обусловлена как особенностями их гидрологического и гидрохимического режимов, так и уровнем антропогенного воздействия. При этом данные устьевые экосистемы функционируют в условиях повышенного содержания ряда химических веществ, в том числе и за счет их поступления с речным стоком.

Таблица 36
 Пространственная изменчивость модулей притока химических веществ на устьевые участки крупных рек Европейского Севера, Юга России и Дальнего Востока

Ингредиент	Среднемультилетний модуль притока растворенных химических веществ (тыс. т в год)										
	Европейский Север					Юг России					Дальний Восток
	р. Онега	р. Северная Двина	р. Печора	р. Волга	р. Дон	р. Кубань	р. Амур	р. Камчатка			
Хлориды	1,43	2,07	3,00	6,45	7,12	5,86	0,953	2,18			
Сульфаты	10,6	14,1	5,29	13,1	9,57	22,2	1,99	4,30			
ЛООВ по ВПК ₃	0,273	0,587	1,07	0,570	0,165	0,297	0,523	0,550			
Азот аммонийный	0,011	0,024	0,047	0,011	0,008	0,054	0,111	0,020			
Азот нитритный	0,0003	0,0005	0,0008	0,005	0,002	0,005	0,004	0,0007			
Азот нитратный	0,030	0,025	0,039	0,062	0,021	0,478	0,026	0,046			
Фосфор фосфатный	0,003	0,004	0,018	0,006	0,004	0,004	0,010	0,030			
Кремнекислота	0,565	0,708	1,30	0,443	0,185	0,654	0,519	5,79			
Фенолы	0,0003	0,0003	0,001	0,0006	0,00000	0,0003	0,001	0,002			
Нефтяные углеводороды	0,010	0,009	0,077	0,006	0,005	0,056	0,009	0,043			
Соединения железа	0,110	0,103	0,281	0,030	0,010	0,063	0,131	0,243			
Соединения меди	0,001	0,0008	0,002	0,0014	0,0002	0,0005	0,004	0,001			
Соединения цинка	0,006	0,005	0,010	0,006	0,0004	0,0021	0,011	0,002			
Соединения никеля	0,001	0,0005	0,002	-	-	-	-	-			

Примечание: прочерк означает отсутствие информации.

АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА УСТЬЕВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ

Глава 5

Формирование и развитие устьевых областей рек в основном определяют гидрологические и геоморфологические факторы, которые включают в себя климатические (метеорологические), речные, морские и общие физико-географические условия, что обуславливает принципиальные различия экосистем в рассматриваемых регионах России [Геоэкологическое состояние ... 2007, Комплексные исследования ... 2003]. Исследуемые устьевые экосистемы функционируют в условиях многофакторного антропогенного воздействия, в том числе за счет поступления загрязняющих веществ с речным стоком. Поэтому даже в условиях одинакового по уровню и характеру антропогенного воздействия отклик отдельной устьевой экосистемы будет сугубо индивидуальным.

Представленные в главе 4 данные о модулях притока растворенных химических веществ на устьевые участки рек позволили провести оценку уровня антропогенной нагрузки на их замыкающие створы. В соответствии с Р 52.24.776-2012 оценка проведена по максимальным значениям модулей притока азота аммонийного, легкоокисляемых органических веществ и нефтяных углеводородов. Антропогенная нагрузка условно может характеризоваться как «малая», «умеренная», «критическая», «высокая», «очень высокая» и «экстремальная» [Р 52.24.776-2012].

Пространственная изменчивость антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока приведена в таблицах 37–40.

Результаты оценки показали, что антропогенная нагрузка на устьевые экосистемы рек Европейского Севера изменялась (табл. 37) по:

Таблица 37

Пространственная изменчивость антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Европейского Севера

Река, замыкающий створ	Показатель	Антропогенная нагрузка по притоку		
		азота аммонийного	ЛООВ (по БПК ₂)	нефтяных углеводов
Онега, с. Порог	Максимальные значения модулей притока, т/км ² в год	0,04–0,06	0,31–0,46	0,01–0,02
	Антропогенная нагрузка	переходная от малой к умеренной	малая	малая
Северная Двина, с. Усть-Пинега	Максимальные значения модулей притока, т/км ² в год	0,03–0,06	0,61–0,78	0,02–0,03
	Антропогенная нагрузка	переходная от малой к умеренной	умеренная	малая
Печора, с. Оксино	Максимальные значения модулей притока, т/км ² в год	0,10–0,13	1,20–1,50	0,07–0,18
	Антропогенная нагрузка	переходная от умеренной к критической	критическая	переходная от умеренной к критической

– **азоту аммонийному** от переходной от «малой» к «умеренной» для рр. Онега и Северная Двина до переходной от «умеренной» к «критической» для р. Печора;

– **легкоокисляемым органическим веществам** от «малой» для р. Онега до «критической» для р. Печора;

– **нефтяным углеводам** от «малой» для рр. Онега, Северная Двина до переходной от «умеренной» к «критической» для р. Печора.

Антропогенная нагрузка на исследуемые устьевые экосистемы рек Сибири значительно изменялась по бассейнам рек. На водосборе бассейна Карского моря (табл. 38) по:

– **азоту аммонийному** от «критической» (рр. Обь, Енисей) до переходной от «высокой» к «очень высокой» (рр. Пур, Таз);

– **легкоокисляемым органическим веществам** от «умеренной» (рр. Обь, Енисей) до переходной от «умеренной» к «критической» (р. Таз);

– **нефтяным углеводородам** от «критической» (рр. Обь, Таз) до переходной от «критической» к «высокой» (рр. Пур, Енисей).

На водосборе бассейна моря Лаптевых устьевые экосистемы рек испытывают «малую» антропогенную нагрузку по притоку соединений азота аммонийного и нефтяных углеводородов, «умеренную» – по притоку ЛООВ (табл. 38).

Устьевые экосистемы рек на водосборе Восточно-Сибирского моря испытывают «малую» антропогенную нагрузку по притоку соединений азота аммонийного и нефтяным углеводородам, переходную от «малой» (р. Колыма) до «умеренной» (р. Индигирка) по ЛООВ (табл. 38).

Антропогенная нагрузка на замыкающих створах рек Юга России изменялась по (табл. 39):

– **азоту аммонийному** от «малой» для рр. Волга, Дон до переходной от «умеренной» к «критической» в устье р. Кубань;

– **легкоокисляемым органическим веществам** от «малой» для рр. Дон, Кубань до «умеренной» в устье р. Волга;

– **нефтяным углеводородам** от «малой» для устьевой области р. Дон до «критической» в устье р. Кубань.

Для рек Дальнего Востока антропогенная нагрузка на устьевые экосистемы характеризовалась (табл. 40) по:

– **азоту аммонийному** от «малой» для р. Камчатка до «критической» для р. Амур;

– **легкоокисляемым органическим веществам** от «умеренной» для р. Камчатка до переходной от «критической» к «высокой» в устье р. Амур;

– **нефтяным углеводородам** от «малой» для р. Амур до «критической» в устье р. Камчатка.

Таблица 38
Пространственная изменчивость антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Сибири

Река, замыкающий створ	Антропогенная нагрузка по модулю притока, т/км ² в год					
	азота аммонийного		ЛООВ		нефтяных углеводородов	
	диапазон максимальных значений	нагрузка	диапазон максимальных значений	нагрузка	диапазон максимальных значений	нагрузка
<i>Бассейн Карского моря</i>						
Обь, г. Салехард	0,16–0,20	критическая	0,33–0,57	умеренная	0,12–0,26	критическая
Пур, г. Самбург	0,22–0,48	переходная от высокой к очень высокой	нет данных	нет данных	0,21–0,39	переходная от критической к высокой
Таз, п. Сидоровск	0,27–0,38	переходная от высокой к очень высокой	0,98–1,20	переходная от умерен- ной к кри- тической	0,21–0,27	критическая
Енисей, г. Игарка	0,11–0,13	критическая	0,50–0,71	умеренная	0,21–0,40	переходная от критической к высокой
<i>Бассейн моря Лаптевых</i>						
Лена, с. Кюсюр	0,03–0,04	малая	0,52–0,67	умеренная	0,03–0,04	малая
Яна, п. ст. Юбилей- ная	0,02–0,03	малая	0,54–0,69	умеренная	0,02–0,03	малая
<i>Бассейн Восточно-Сибирского моря</i>						
Индирикка, пос. Чокурдах	0,04–0,05	малая	0,52–0,69	умеренная	0,01–0,02	малая
Кольма, г. Среднеколымск	0,01–0,02	малая	0,23–0,40	малая	0,01–0,02	малая

Таблица 39

Пространственная изменчивость антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Юга России

Река, замыкаю- щий створ	Антропогенная нагрузка по модулю притока, т/км ² в год					
	азота аммонийного		ЛООВ		нефтяных углеводородов	
	диапазон макси- мальных значений	нагрузка	диапазон макси- мальных значений	нагрузка	диапазон макси- мальных значений	нагрузка
Волга, с. Верхнее Лебяжье	0,020–0,036	малая	0,74–0,93	умерен- ная	0,11–0,13	умерен- ная
Дон, ст. Раздор- ская	0,011–0,015	малая	0,20–0,45	малая	0,007–0,008	малая
Кубань, х. Тихов- ский	0,09–0,13	пере- ходная от умеренной к критиче- ской	0,47–0,61	малая	0,111–0,220	критиче- ская

Таблица 40

Пространственная изменчивость антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы рек Дальнего Востока

Река, замыкаю- щий створ	Антропогенная нагрузка по модулю притока, т/км ² в год					
	азота аммонийного		ЛООВ		нефтяных углеводородов	
	диапазон макси- мальных значений	нагрузка	диапазон макси- мальных значений	нагрузка	диапазон макси- мальных значений	нагрузка
Камчатка, г. Ключи	0,03–0,04	малая	0,57–0,81	умеренная	0,10–0,28	критиче- ская
Амур, с. Бо- городское	0,12–0,17	критиче- ская	1,30–1,80	переходная от крити- ческой к высокой	0,02–0,03	малая

Обобщение результатов проведенного исследования позволили выявить особенности изменчивости антропогенной нагрузки по притоку растворенных химических веществ, а ранжирование устьевых экосистем крупных рек России по уровню антропогенной нагрузки – сгруппировать изучаемые экосистемы (табл. 41).

Антропогенная нагрузка на устьевые участки рек по притоку **азота аммонийного** характеризуется как:

– *малая* – рр. Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, Камчатка;

– *переходная от малой к умеренной* – рр. Онега, Северная Двина;

– *переходная от умеренной к критической* – рр. Печора, Кубань;

– *критическая* – рр. Обь, Енисей, Амур;

– *переходная от высокой к очень высокой* – рр. Пур, Таз.

Антропогенная нагрузка на устьевые участки рек по притоку **легкоокисляемых органических веществ** оценена как (табл. 41):

– *малая* – рр. Онега, Колыма, Дон, Кубань;

– *умеренная* – рр. Северная Двина, Обь, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Волга, Камчатка;

– *переходная от умеренной к критической* – р. Таз;

– *критическая* – р. Печора;

– *переходная от критической к высокой* – р. Амур.

По притоку **нефтяных углеводородов** антропогенная нагрузка на устьевые участки рек характеризуется как (табл. 41):

– *малая* – рр. Онега, Северная Двина, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Амур;

– *умеренная* – р. Волга;

– *переходная от умеренной к критической* – р. Печора;

– *критическая* – рр. Обь, Таз, Кубань, Камчатка;

– *переходная от критической к высокой* – рр. Пур, Енисей.

Полученные данные по ранжированию устьевых экосистем крупных рек России вызывают оптимизм в отношении изменчивости антропогенной нагрузки, поскольку для большинства рек она оценивается как «малая» или «умеренная». Антропогенную нагрузку переходную от «критической» к «высокой» и «очень высокой» испытывают устьевые экосистемы рек Пур, Таз (по азоту аммонийному), Амур (по легкоокисляемым органическим веществам) и Пур, Енисей (по нефтяным углеводородам).

Таблица 41

Ранжирование устьевых экосистем крупных рек России по антропогенной нагрузке

Ингредиент	Антропогенная нагрузка на устьевые области рек						
	малая	переходная от малой к умеренной	умеренная	переходная от умеренной к критической	критическая	переходная от критической к высокой	переходная от высокой к очень высокой
Азот аммонийный	Лена, Яна, Индигирка, Кольма, Волга, Дон, Камчатка	Онега, Северная Двина		Печора, Кубань	Обь, Енисей, Амур		Пур, Таз
Легкоокисляемые органические вещества	Кольма, Дон, Кубань, Онега		Северная Двина, Обь, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Волга, Камчатка	Таз	Печора	Амур	
Нефтяные углеводороды	Онега, Северная Двина, Лена, Яна, Индигирка, Кольма, Дон, Амур		Волга	Печора	Обь, Таз, Кубань, Камчатка	Пур, Енисей	

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ

Глава 6

Как показано в предыдущей главе, исследуемые устьевые экосистемы крупных рек России испытывают различную антропогенную нагрузку, что отражается на их функционировании и влияет на экологическое состояние. Учитывая заметное разнообразие природных и антропогенных условий функционирования устьевых экосистем рек, особый интерес вызывает сравнительный анализ пространственной изменчивости современного экологического состояния последних.

В перечень показателей, по которым проводится оценка изменчивости состояния устьевых экосистем, включены азот аммонийный и биохимическое потребление кислорода (БПК₅), которые удовлетворяют требованиям интегральности, неспецифичности отклика на воздействие, минимизации затрат на измерение, надежности определения [Р 52.24.776-2012].

Оценка экологического состояния устьевых экосистем по модальным интервалам значений концентраций химических веществ (азот аммонийный и ЛООВ (по БПК₅ воды)) учитывает вклад органических и биогенных веществ в химический состав воды.

Пространственная изменчивость состояния устьевых экосистем крупных рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока по интегральным гидрохимическим показателям представлена в таблице 42.

Результаты анализа модальных интервалов (МИ) значений концентраций в водной среде устьевых участков рек выше перечисленных показателей свидетельствуют, что по содержанию ЛООВ состояние исследуемых устьевых экосистем оценивается как (табл. 42):

– «естественное», «равновесное» или переходное из «естественного» в «равновесное» для устьев рек Онега, Северная Двина, Обь, Пур, Енисей, Лена, Колыма, Кубань и Камчатка;

– переходное из «равновесного» в «кризисное» для рек Печора, Яна, Индигирка, Дон, Волга и Амур и «кризисное» – р. Таз.

Состояние исследуемых устьевых экосистем по содержанию азота аммонийного характеризуется как (табл. 42):

– «естественное», «равновесное» или переходное из «естественного» в «равновесное» для большинства рек (Онега, Северная Двина, Печора, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Волга, Кубань и Камчатка);

– переходное из «равновесного» в «кризисное» для рр. Обь, Пур, Таз и Амур.

Таким образом, многие устьевые экосистемы крупных рек России находятся в «естественном», «равновесном» или в переходном из «естественного» в «равновесное» состоянии. Устьевые экосистемы таких рек, как Печора, Обь, Пур, Таз, Яна, Индигирка, Волга, Дон и Амур функционируют в состоянии переходном в «кризисное» и только для р. Таз по содержанию легкоокисляемых органических веществ характерно «кризисное» состояние (табл. 43).

Для более полной и объективной оценки изменчивости экологического состояния устьевых экосистем рек результаты оценки по гидрохимическим показателям целесообразно сопоставить с оценкой по уровню развития сообществ водных организмов.

Планктонным и бентосным сообществам водных организмов принадлежит ведущая роль в индикации природных модификаций экологического состояния устьевых экосистем, антропогенное воздействие на которые вызывает усиление процессов антропогенного эвтрофирования или экологического регресса [Р 52.24.776-2012].

Несмотря на относительно низкую пространственную разрешимость гидробиологической сети ГСН в устьевых областях рек, накопленная информация по меж- и внутригодовой изменчивости уровня развития и структурной организации гидробиоценозов исследуемых рек приобретает особую важность, поскольку ответная реакция планктонных и бентосных сообществ на антропогенное воздействие является прямым откликом водных

Таблица 42

Пространственная изменчивость состояния устьевых экосистем рек России по интегральным гидрохимическим показателям

Река, замыкающий створ	ЛООВ (по БПК ₅)		Азот аммонийный	
	МИ значений концентрации, мг/дм ³	состояние	МИ значений концентрации, мг/дм ³	состояние
<i>Европейский Север</i>				
Онега, с. Порог	0,31–1,59 (68)*	переходное из естественного в равновесное	н.о.–0,12 (83)	равновесное
Сев. Двина, с. Усть-Пинега	1,19–2,11(40)	равновесное	н.о.–0,05 (71)	естественное
Печора, с. Оксина	0,48–2,44 (65)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,06 (53)	естественное
<i>Сибирь</i>				
Обь, г. Салехард	0,16–1,32 (50)	переходное из естественного в равновесное	н.о.–0,72 (54)	переходное из равновесного в кризисное
Пур, пос. Самбург	1,05–1,77 (41)	равновесное	н.о.–0,89 (64)	переходное из равновесного в кризисное
Таз, пос. Тазовский	2,50–3,30 (60)	кризисное	0,53–1,06 (41)	переходное из равновесного в кризисное
Енисей, г. Игарка	0,40–1,10 (45)	равновесное	н.о.–0,29 (74)	равновесное
Лена, с. Кюсюр	1,16–2,10 (41)	равновесное	н.о.–0,08 (74)	естественное
Яна, п.ст. Юбилейная	1,35–2,60 (43)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,05 (82)	естественное
Индирикка, пос. Чокурдах	1,20–2,95 (79)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,18 (91)	равновесное
Колыма, г. Среднеколымск	0,17–0,98 (61)	естественное	н.о.–0,06 (72)	естественное
<i>Юг России</i>				
Дон, ст. Раздорская	0,80–3,22 (50)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,12 (71)	равновесное
Кубань, хут. Тиховский	0,84–1,53 (57)	равновесное	н.о.–0,27 (65)	равновесное
Волга, с. Верхнее Лебяжье	0,42–3,71 (69)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,10 (88)	естественное
<i>Дальний Восток</i>				
Амур, с. Богородское	0,93–2,48 (74)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,66 (80)	переходное из равновесного в кризисное
Камчатка, пос.Ключи	0,21–0,97 (40)	естественное	н.о.–0,04 (70)	естественное

Примечание: *частота встречаемости значений модального интервала, в %.

сообществ на совокупное воздействие комплекса загрязняющих веществ, способных вызвать либо антропогенное эвтрофирование водного объекта, либо его экологический регресс [Никаноров и др., 2007а, 2012; Никаноров и Брызгалов, 2012].

Таблица 43

Группировка устьевых экосистем крупных рек России по состоянию их абиотической компоненты

Состояние устьевых экосистем	Ингредиент	
	Легкоокисляемые органические вещества (по БПК ₅)	Азот аммонийный
Естественное	Колыма, Камчатка	Печора, Лена, Яна, Колыма, Волга, Камчатка, Северная Двина
Переходное из естественного в равновесное	Онега, Обь	
Равновесное	Северная Двина, Пур, Енисей, Лена, Кубань	Онега, Енисей, Индигирка, Дон, Кубань
Переходное из естественного и (или) равновесного в кризисное	Печора, Яна, Индигирка, Волга, Дон, Амур	Обь, Пур, Таз, Амур
Кризисное	Таз	

Как показано в главе 2, для оценки состояния водных экосистем по гидробиологическим показателям определяется направленность и уровень внутриводоемных процессов по эффекту антропогенного воздействия.

По уровню преобладающего внутрисистемного процесса можно охарактеризовать состояние устьевых экосистем рек в соответствии с Р 52.24.661-2004 по шкале, представленной в таблице 44.

Результаты оценки эффекта антропогенного воздействия на устьевые экосистемы крупных рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока позволили оценить направленность внутриводоемных процессов (табл. 45).

Таблица 44

Оценка состояния водных экосистем по уровню внутрисистемных процессов

Состояние экосистемы	Уровень регресса	Уровень антропогенного эвтрофирования
Естественное	Регресс отсутствует	Процесс отсутствует
Равновесное	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	Низкий
Кризисное	Элементы экологического регресса	Средний
Критическое	Экологический регресс	Высокий
Катастрофическое	Метаболический регресс	Процесс отсутствует

Таблица 45

Направленность внутриводоемных процессов по эффекту антропогенного воздействия эффекта на устьевые экосистемы крупных рек России

Река	Замыкающий створ	Модалная вариационная плотность фитопланктона, тыс. кл/мл	Относительная плотность распределения, П, %	Эффект антропогенного воздействия
Северная Двина	г. Архангельск	0,95	36,9	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса
Лена	с. Кюсюр	0,66	68,5	Элементы экологического регресса
Колыма	с. Колымское	0,52	93,4	Элементы экологического регресса
Дон	г. Ростов-на-Дону, выше города	2,1	20	Антропогенное напряжение с элементами эвтрофирования (низкий эвтрофирующий эффект)
	г. Ростов-на-Дону, ниже сбросов ПУ «Водоканал»	1,1	35	Элементы экологического регресса (средний токсический эффект)
Волга	с. Верхнее Лебяжье	1,49	27,8	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса

Для устьевых экосистем рр. Северная Двина, Лена, Колыма и Волга направленность внутрисистемных процессов от «антропогенного напряжения с элементами экологического регресса» к «элементам экологического регресса» свидетельствует об усилении данного процесса. Для устьевой экосистемы реки Дон отмечено, что усиление процессов экологического регресса происходит при низком уровне антропогенного эвтрофирования. Вероятно, такая направленность внутриводоемных процессов для р. Дон определяется токсическим действием загрязняющих веществ на фитопланктонные сообщества [Никаноров и др., 2012; Решетняк и др., 2013].

Оценка уровня экологического регресса проведена по совокупности таких статистических характеристик, как модальный интервал многолетних вариационных рядов общей численности бактериопланктона, фитопланктона, макрозообентоса и относительной численности группы олигохет (в соответствии с РД 52.24.633-2002).

Результаты оценки уровня экологического регресса изучаемых устьевых экосистем крупных рек России показали усиление процесса экологического регресса. Из числа исследуемых устьевых экосистем для большинства из них характерно «антропогенное напряжение с элементами экологического регресса» и «элементы экологического регресса» (табл. 46–48).

По численности бактериопланктона состояние устьевых экосистем рр. Онега и Северная Двина оценено как «естественное» или переходное из «естественного» в «равновесное» (табл. 46), по уровню развития фитопланктонных сообществ состояние меняется от «равновесного» (р. Волга) до «кризисного» (рр. Лена, Дон и Амур) и «критического» (р. Колыма) (табл. 47), по показателям развития макрозообентоса – от «равновесного» (рр. Лена, Волга – г. Астрахань) до «кризисного» (р. Волга – с. Верхнее Лебяжье, р. Дон – г. Ростов-на-Дону) (табл. 48).

Данные таблиц 46–48 показывают, что при усилении процесса экологического регресса сообществ водных организмов происходит ухудшение экологического состояния устьевых экосистем, а характер антропогенной изменчивости структурной организации и уровня развития планктонных и бентосных сообществ водных организмов определяются компонентным составом водной среды их обитания.

Таблица 46

Уровень экологического регресса и состояние устьевых экосистем рек Европейского Севера по бактериопланктону

Река, замыкающий створ	МИ значений численности бактериопланктона, млн кл/мл	Уровень экологического регресса	Состояние экосистемы
Северная Двина, г. Архангельск	0,30–1,06 (56 %)	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	переходное из естественного в равновесное
Онега, с. Порог	0,13–0,69 (70 %)		естественное

Таблица 47

Уровень экологического регресса и состояние устьевых экосистем рек по фитопланктону

Река, замыкающий створ	МИ значений численности фитопланктона, тыс. кл/мл	Уровень экологического регресса	Состояние экосистемы
Северная Двина, г. Архангельск*	0,03–1,90 (69)**	элементы экологического регресса	кризисное
Лена, с. Кюсюр	0,05–1,80 (67)	элементы экологического регресса	кризисное
Лена, п.ст. Хабарова	0,09–1,30 (56)	элементы экологического регресса	кризисное
Колыма, с. Колымское	0,10–0,54 (59)	экологический регресс	критическое
Амур, г. Хабаровск*	0,56–2,19 (75)	элементы экологического регресса	кризисное
Дон, г. Ростов-на-Дону*	0,10–3,70 (67)	элементы экологического регресса	кризисное
Волга, с. Верхнее Лебяжье	0,08–6,80 (76)	антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	равновесное

Примечания: *рассмотрен данный пункт наблюдений, поскольку на замыкающем створе реки гидробиологические наблюдения не ведутся; ** в скобках – частота, %.

Таблица 48

Уровень экологического регресса и состояние устьевых экосистем рек по макрозообентосу

Река, замыкающий створ	МИ значений (частость, %)		Уровень экологического регресса	Состояние экосистемы
	численности макрозообентоса, тыс. экз./м ²	относительной численности олигохет, %		
Лена, с. Кюсюр	0,12–0,28 (75)	0–36 (70)	антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	равновесное
Волга, г. Астрахань	0,02–3,86 (63)	2–39 (57)		равновесное
Дон, г. Ростов-на-Дону*	1,10–16,0 (65)	68–100 (73)	элементы экологического регресса	кризисное
Волга, с. Верхнее Лебяжье	0,14–4,04 (78)	53–94 (71)		кризисное

Примечание: * рассмотрен данный пункт наблюдений, поскольку на замыкающем створе реки гидробиологические наблюдения не ведутся.

Обобщая представленные данные по изменчивости показателей уровня развития бактерио-, фитопланктона и макрозообентоса, можно сделать следующие выводы:

– экологическое состояние устьевых экосистем, испытывающих сильное антропогенное воздействие, заметно меняется за счет усиления процесса экологического регресса сообществ водных организмов;

– в зависимости от степени загрязненности и характера изменчивости компонентного состава водной среды состояние устьевых экосистем меняется по бактериопланктону и макрозообентосу от «антропогенного напряжения с элементами экологического регресса» до «экологического регресса»;

– нередко случаи, когда отмечается угнетение развития макрозообентоса в целом, и в том числе группы олигохет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполняя роль барьера между рекой и приемным водоемом, устьевые экосистемы рек играют важную роль в формировании экологического состояния побережий российских морей. Несмотря на относительно небольшие размеры устья рек имеют большое экологическое и хозяйственное значение, поскольку обладают огромными водными и биологическими ресурсами [Никаноров, Брызгало, 2011].

Будучи подверженными влиянию речного стока, устьевые экосистемы являются уязвимыми объектами, характеризуются промежуточным режимом между речным и морским, сильно зависят от внешних воздействий, в первую очередь, от водохозяйственных мероприятий в речных бассейнах. Отсутствие достаточных знаний об особенностях функционирования устьевых экосистем либо недоучет этих особенностей нередко приводит к нанесению серьезного ущерба многим из них [Брызгало, Иванов, 1999; Иванов, Брызгало, 2005; Никаноров, Брызгало, 2010].

Созданный авторами в процессе многолетних исследований исходный массив данных, включающий режимную гидрологическую, гидрохимическую и гидробиологическую информацию ГСН, позволил выполнить расчет многолетней внутри- и межгодовой изменчивости притока растворенных химических веществ на замыкающие створы 16 крупных рек Европейского Севера, Сибири, Юга России и Дальнего Востока, а также оценить антропогенную нагрузку и изменчивость их состояния.

На основе анализа многолетней гидрохимической информации ГСН выявлены региональные особенности изменчивости компонентного состава водной среды устьевых экосистем, которые проявляется в:

- изменении основных гидрохимических показателей (главные ионы, содержание легкоокисляемых органических веществ и растворенного в воде кислорода);

– увеличении повторяемости случаев превышения содержания в водной среде загрязняющих веществ до концентраций, значительно превышающих ПДК;

– усилении пространственной неоднородности по содержанию в водной среде минеральных форм азота и фосфора и нарушении внутригодовой сезонной динамики их содержания.

Такая пространственная неоднородность компонентного состава водной среды отражается и в изменчивости притока растворенных химических веществ. Показано, что широкий диапазон колебания значений объемов притока растворенных химических веществ обусловлен не только изменчивостью объемов водного стока, но и значительной внутри- и межгодовой вариацией концентраций растворенных химических веществ в речном стоке. Выявлено, что в весенне-летний период с речным стоком на устьевые участки рек могут поступать азот- и фосфорсодержащие соединения в объемах, превышающих их природный фон.

Результаты расчета и сравнительной оценки межгодовой изменчивости модулей притока азота аммонийного, ЛООВ и нефтяных углеводородов показали, что устьевые экосистемы исследуемых рек испытывают антропогенную нагрузку по:

– азоту аммонийному от «малой» (рр. Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, Камчатка) до переходной от «высокой» к «очень высокой» (рр. Пур, Таз);

– легкоокисляемым органическим веществам от «малой» (рр. Колыма, Дон, Кубань) до переходной от «критической» к «высокой» (р. Амур);

– нефтяным углеводородам от «малой» (рр. Онега, Северная Двина, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Амур) до переходной от «критической» к «высокой» (рр. Пур, Енисей).

Проведенная оценка состояния исследуемых устьевых экосистем крупных рек России по гидрохимическим и гидробиологическим показала, что большинство из них находятся в «естественном» и «равновесном» состоянии или в переходном из «естественного» и (или) «равновесного» в «кризисное» состояние.

Важно отметить, что в условиях, когда оценка изменчивости состояния устьевых экосистем по гидрохимическим показателям показывает высокий уровень антропогенного воздействия, анализ структурной организации сообществ водных организмов становится определяющим, так как позволяет более объективно оценить изменчивость экологического состояния водных экосистем.

Результаты проведенных исследований позволили выявить тенденцию усиления процессов антропогенного экологического регресса сообществ и происходящее при этом ухудшение экологического состояния устьевых экосистем от «естественного» и «равновесного» до «кризисного» и «критического».

Выявленные региональные особенности изменчивости экологического состояния и достаточно высокий уровень антропогенной нагрузки на устьевые экосистемы крупных рек России предопределяет необходимость расширения исследований в данном направлении, что позволит значительно повысить степень экологической обоснованности природоохранных мероприятий как в бассейнах рек, так и на их устьевых участках.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Вершина дельты реки – место отделения от реки первого рукава [ГОСТ 18457-73].

Водные ресурсы – запасы поверхностных и подземных вод какой-либо территории [ГОСТ 19179-73].

Воздействие антропогенное – влияние человечества на что-либо, не обязательно прямое; сумма прямых и опосредованных (косвенных) влияний человечества на компоненты окружающей среды.

Водосбор – часть земной поверхности, толща почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. *Примечание: выделяют поверхностный и подземный водосборы (по ГОСТ 19179-73).*

Гидрологическая сеть – совокупность гидрологических постов, размещенных на какой-либо территории (по ГОСТ 19179-73).

Гидрологический пост – пункт на водном объекте, оборудованный устройствами и приборами для проведения систематических гидрологических наблюдений [ГОСТ 19179-73].

Гидрологический режим – совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта, присущих ему и отличающих его от других водных объектов [ГОСТ 19179-73].

Гидрохимический режим – закономерные изменения химического состава воды водного объекта или отдельных его компонентов во времени, обусловленные физико-географическими условиями бассейна и антропогенным воздействием [Зенин, Белоусова, 1988].

Дельта реки – устьевой участок реки, в пределах которого происходит ее деление на водотоки [ГОСТ 18457-73].

Дельта выполнения – дельта, образующаяся путем заполнения наносами вдающегося в сушу залива [Чеботарев, 1970].

Дельта выдвигения – дельта, развивающаяся за пределы общей линии побережья [Чеботарев, 1970].

Загрязнение природных вод – 1) процесс изменения химического или биологического состава или физических свойств природных вод в результате поступления в них загрязняющих веществ или живых организмов и возникновения в них нехарактерных для водных объектов физических, химических и биологических показателей, приводящих к ухудшению качества воды [Зенин, Белоусова, 1988]; 2) привнесение в среду или возникновения в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических факторов, приводящих к превышению в рассматриваемое время естественного среднесезонного уровня концентраций перечисленных агентов в среде, и, как следствие, к негативным воздействиям.

Загрязненность водных объектов – превышение концентрации загрязняющих веществ или значений показателей физических свойств воды над ПДК, вызывающее нарушение норм качества воды [Зенин, Белоусова, 1988].

Замыкающий створ – нижний створ на реке, ограничивающий рассматриваемый бассейн [ГОСТ 19179-73].

Качество поверхностных вод – установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей соответствия качества поверхностных вод требованиям водопользования [РД 52.24.643-2002].

Модуль водного стока – количество воды, стекающее с единицы площади водосбора в единицу времени [ГОСТ 19179-73].

Нагонный участок реки – часть нижнего течения реки, на котором бывают нагонные колебания уровня воды [ГОСТ 18457-73]. *Примечание: нагонный участок реки может быть длиннее устьевого участка реки.*

Объем стока – объем воды, стекающий с водосбора за какой-либо интервал времени [ГОСТ 19179-73].

Объемный расход воды – объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени [ГОСТ 19179-73].

Оценка степени загрязненности поверхностных вод – установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей, характеризующих состав и свойства поверхностных вод, отличия от их нормативных значений, свидетельствующих о пригодности воды для водопользования [РД 52.24.643-2002].

Поверхностные воды – воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов [ГОСТ 19179-73].

Приливный участок реки – часть нижнего течения реки, на котором бывают приливные колебания уровня воды [ГОСТ 18457-73]. *Примечание: приливный участок реки может быть длиннее устьевого участка реки.*

Река – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло [ГОСТ 19179-73].

Речная система – совокупность рек, сливающихся вместе и выносящих свои воды в виде общего потока [ГОСТ 19179-73].

Состояние водного объекта – характеристика водного объекта по совокупности его количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования [ГОСТ 17.1.1.01].

Сток местный – сток, сформировавшийся в пределах однородного физико-географического района [ГОСТ 19179-73].

Устьевая область реки – переходная зона от реки к морю, для которой характерно взаимодействие и смешение вод реки и моря и дельтообразование [ГОСТ 18457-73]. *Примечания: 1. Устьевая область реки включает устьевой участок реки с частью ее бассейна и устьевое взморье. 2. Дельтообразование – процесс отложения и переотложения речных и морских наносов, при-*

водящий к формированию гидрографической сети и подводного и надводного рельефа устьевой области реки.

Устье водотока – место впадения водотока в водоем, другие водотоки или место начала растекания этих вод по поверхности суши [ГОСТ 18457-73].

Устьевой участок реки – часть нижнего течения реки, на которой проявляется влияние моря и происходит дельтообразование.

Устьевое взморье – часть прибрежной зоны моря, в которой проявляется влияние речного стока и происходит формирование подводной дельты [ГОСТ 18457-73].

а) Открытое устьевое взморье – устьевое взморье, расположенное за пределами общей линии морского побережья.

б) Закрытое устьевое взморье – устьевое взморье, включающее полностью или частично залив, лиман или эстуарий.

Эстуарий – часть устьевого взморья в виде глубоко вдающегося в сушу залива, сформированного при воздействии приливно-отливных явлений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Алабян и др., 1991 – Современные процессы дельтообразования и история развития дельты Енисея / Алабян А.М., Бабич Д.Б., Богомолов А.Л. и др. М.: ВИНТИ, 1991. Деп. № 3013-В91. 151 с.

Алексеевский, Айбулатов, 2013 – Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н. Структура дельтовых водотоков и ее учет при оптимизации гидрологического мониторинга в устьевых областях рек // Исследования океанов и морей (под ред. В.Ф. Полонского) / Труды ГОИН. Вып. 214. М., 2013. С. 251–263.

Антонов, 1967 – Антонов В.С. Устьевая область Лены (гидрологический очерк). Л.: Гидрометеиздат, 1967. 107 с.

Антропогенное воздействие ... 1999 – Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия / под ред. Ю.А. Израэля, Г.В. Калабина, В.В. Никонова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 313 с.

Бабич и др., 1992 – Гидролого-морфологические процессы в устьевой области Яны, их природная и антропогенная изменчивость / Бабич Д.Б., Заец Г.М., Коротаев В.Н., Михайлов В.Н. // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 165–186.

Бабич, 1999 – Бабич Д.Б. Гидрохимическая характеристика зоны проникновения морских вод в дельте р. Яны // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1999. № 5. С. 42–46.

Бабич и др., 2001 – Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы / Бабич Д.Б., Коротаев В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н. М.: ГЕОС, 2001. 200 с.

Бакланов, 2001 – Бакланов П.Я. Дальневосточный регион России: проблемы и предпосылки устойчивого развития. Владивосток: Дальнаука, 2001. 144 с.

Балакина и др., 2013 – Состояние наблюдений и работ в устьевой области р. Печора / Балакина О.Н., Волик В.А., Дуркина Л.М., Полонский В.Ф. // Исследования океанов и морей (под ред. В.Ф. Полонского) / Труды ГОИН. Вып. 214. М., 2013. С. 96–107.

Бреховских и др., 2003 – Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н. Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины / ИВП РАН. М.: Наука, 2003. 233 с.

Брызгалo, Иванов, 1999 – Брызгалo В.А., Иванов В.В. Экологические последствия антропогенного воздействия на устьевые области рек бассейнов арктических морей России // Экологическая химия. 1999. Т. 8. Вып. 4. С. 224–245.

Брызгалo, Иванов, 2000 – Брызгалo В.А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах рек бассейнов арктических морей России. Многолетняя и сезонная изменчивость // Экологическая химия. 2000. Т. 9. Вып. 2. С. 76–89.

Брызгалo, Иванов, 2002 – Брызгалo В.А., Иванов В.В. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек бассейна Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2002. Т. 11. Вып. 2. С. 91–104.

Брызгалo, Иванов, 2003 – Брызгалo В.А., Иванов В.В. Антропогенная нагрузка с водосборов северных и сибирских рек России на их устьевые экосистемы // Экологическая химия. 2003. Т. 12. Вып. 3. С. 160–170.

Брызгалo и др., 2013 – Брызгалo В.А., Никаноров А.М., Решетняк О.С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России // Вода: химия и экология. 2013. № 12. С. 15–21.

Водные ресурсы России ... 2008 – Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГТИ, 2008. 598 с.

Гарькуша, Федоров, 2010 – Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Метан в устьевой области реки Дон. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2010. 181 с.

Геоэкологическое состояние ... 2007 – Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.

Гидрология устьевой ... 1965 – Гидрология устьевой области Северной Двины / под ред. М.И. Зотина, В.Н. Михайлова. М.: Гидрометеоиздат, 1965. 375 с.

Горелиц, 1990 – Горелиц О.В. Влияние водохозяйственных мероприятий на режим стока Волги и ее дельты // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 9. Устья рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. С. 53–58.

Горелиц, 1994 – Горелиц О.В. Характеристика уровня режима дельты Волги в период половодья // Водные ресурсы. 1994. Т. 24. № 4. С. 457–462.

Государственный водный кадастр, 1981–2013 – Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 1: РФ. Вып. 1. Бассейны рек северо-восточного побережья Черного моря, бассейн Кубани. Вып. 3. Бассейн Дона. Вып. 8. Бассейны Онеги, Северной Двины, Мезени. Вып. 9. Бассейн Печоры. Вып. 10. Бассейн Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. Вып. 12. Бассейн Енисея (без бассейна Ангары), Пясины. Вып. 16. Бассейн Лены (среднее и нижнее течение), Хатанги, Анабара, Оленека, Яны и Индигирки. Вып. 17. Бассейн Колымы и рек Магаданской области. Вып. 18. Бассейн рек Камчатской области. Вып. 19. Бассейн Амура (без бассейнов Шилки, Аргуни, Усури, Амазара) и Уды. Вып. 24. Бассейн Волги (среднее и нижнее течение) и Урала.

Ежегодники качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям ... 1981–2013 – Ежегодники качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям на территории деятельности Мурманского, Северного, Обь-Иртышского, Среднесибирского, Якутского, Северо-Кавказского, Дальневосточного УГМС. 1980–2012 гг. Изд-во УГМС, 1981–2013.

Ежегодники качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям ... 1981–2013 – Ежегодники качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям на территории деятельности Мурманского, Северного, Дальневосточного, Приморского, Тиксинского УГМС. 1980–2012 гг. Изд-во УГМС, 1981–2013.

Залогин, Родионов, 1969 – Залогин Б.С., Родионов Н.А. Устьевые области рек СССР. М.: Мысль, 1969. 312 с.

Зенин, Белоусова, 1988 – Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 239 с.

Иванов, Осипова, 1974 – Иванов В.В., Осипова И.В. Сток устьевой области Енисея и его многолетняя изменчивость // Труды ААНИИ. 1974. Т. 308. С. 35–41.

Иванов, 1974 – Иванов В.В. Основные принципы гидролого-морфологического районирования устьевых областей крупных рек // Труды ААНИИ. 1974. Т. 308. С. 4–13.

Иванов, 1978 – Иванов В.В. Основные итоги и очередные задачи исследований низовьев и устьевых областей рек Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 1978. Вып. 54. С. 30–41.

Иванов и др., 1980 – Иванов В.В., Пискун А.А., Гиляров Н.П. Экспериментальные исследования перераспределения стока в дельтах рек Пура и Таза при осуществлении путевых работ // Труды ААНИИ. 1980. Т. 358. С. 75–92.

Иванов и др., 1983 – Иванов В.В., Пискун А.А., Корабель Р.А. Распределение стока по основным рукавам дельты Лены // Труды ААНИИ. 1983. Т. 378. С. 59–71.

Иванов и др., 2004 – Иванов В.В., Муждаба О.В., Соловьева З.С. Многолетние изменения годового и сезонного притока речных вод в арктические моря // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, секция 3. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. С. 39–41.

Иванов, Брызгало, 2005 – Иванов В.В., Брызгало В.А. Экологические последствия антропогенного воздействия на ни-

зовья и устья крупных северных и сибирских рек // Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды. Сборник материалов конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 1999–2004». СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. С.164-166.

Комплексные исследования ... 2003 – Комплексные исследования устьев рек Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. 83 с.

Коротаев, Чалов, 1976 – Коротаев В.Н., Чалов Р.С. Современные процессы дельтообразования в устьевой области рек Пура и Таза // Труды ААНИИ. 1976. Т. 314. С. 162–175.

Коротаев и др., 1976 – Формирование устьев рек Таза и Пура и рельефа дна южной части Тазовской губы / Коротаев В.Н., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Шутов А.М. // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1976. Вып. 5. С. 140–173.

Коротаев, 1984 – Коротаев В.Н. Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1984. № 6. С. 39–44.

Коротаев и др., 1990 – Гидролого-морфологические процессы в дельте р. Лены / Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Бабич Д.Б., Богомолов А.Л., Заец Г.М. // Земельные и водные ресурсы. Противоэрозионная защита и регулирование русел. М.: МГУ, 1990. С. 120–144.

Косицкий, Магрицкий, 1996 – Косицкий А.Г., Магрицкий Д.В. Гидрологический режим среднего и нижнего течения р. Индигирки // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1996. № 2. С. 75–82.

Кузнецов и др., 1991 – Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцев Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 194 с.

Кураева, Лупачев, 1986 – Кураева Л.Н., Лупачев Ю.В. Особенности циркуляции и перемешивания вод в устьевой области Онеги // Гидрология устьев рек. Труды ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 11–17.

Лепская, 2014 – Лепская Е.В. Фитопланктон эстуария реки Камчатки // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 32. С. 5–20.

Лобанова, 1987 – Лобанова Н.И. Общая характеристика зоны смещения устьевой области Амура // Гидрология рек и морских устьев. Труды Дальневосточного регионального НИИ. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. Вып. 13. С. 33–34.

Лукин и др., 2000 – Лукин А.А., Даувальтер А.А., Новоселов А.П. Экосистема Печоры в современных условиях. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 192 с.

Лупачев, 1979 – Лупачев Ю.В. Гидрологические условия устьевой области Печоры и их возможные изменения при изъятии части стока из бассейна // Труды ГОИН. 1979. Вып. 143. С. 49–68.

Лупачев, Скриптунов, 1979 – Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.О. Течения и водообмен в Печорской губе // Труды ГОИН. 1979. Вып. 143. С. 83–101.

Лупачев, 1982 – Лупачев Ю.В. Особенности гидрологического режима устьевой области Онеги // Труды ГОИН. 1982. Вып. 161. С. 92–96.

Лурье, Панов, 1999 – Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI века // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90–97.

Лурье и др., 2005 – Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 498 с.

Магрицкий, Михайлов, 2006 – Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н. Современное распределение стока воды и наносов в дельте р. Лены // Материалы XXI пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Чебоксары, 2006. С. 149–151.

Методические рекомендации ... 1990 – Методические рекомендации по обоснованию системы наблюдений и расчету

выноса с речным стоком нефтяных углеводородов. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 19 с.

Михайлов, 1996 – Михайлов В.Н. Устьевые области рек: гидролого-экологические проблемы и пути их решения // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. Материалы коорд. совещ. вузов 1991–1995 гг. / под ред. проф. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 210–217.

Михайлов, 1997а – Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997а. 176 с.

Михайлов, 1997б – Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997б. 413 с.

Михайлов, 2004 – Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.

Михайлов, Горин, 2012 – Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 3. С. 243–257.

Нижняя Яна, 1998 – Нижняя Яна. Устьевые и русловые процессы / отв. ред.: В.Н. Коротаев, В.Н. Михайлов, Р.С. Чалов. М.: ГЕОС, 1998. 212 с.

Никаноров и др., 2007а – Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгало В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2007а. 280 с.

Никаноров и др., 2007б – Никаноров А.М., Брызгало В.А., Черногаева Г.М. Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология. 2007б. № 11. С. 62–79.

Никаноров, Брызгало, 2010 – Никаноров А.М., Брызгало В.А. Реки России. Часть II. Реки Европейского Севера и Сибири. Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2010. 296 с.

Никаноров и др., 2010а – Роль химического речного стока в антропогенной изменчивости состояния водной среды Енисейской устьевой области / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. // Водные ресурсы. 2010а. № 4. С. 434–444.

Никаноров и др., 2010б – Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной изменчивости состояния водной среды устьевой области р. Волга / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. // Вода: химия и экология. 2010б. № 7. С. 6–12.

Никаноров и др., 2011а – Устьевая область р. Колыма в современных условиях антропогенного воздействия / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. // Метеорология и гидрология. 2011а. № 8. С. 74–88.

Никаноров и др., 2011б – Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. // Вода: химия и экология. 2011б. № 1. С. 4–10.

Никаноров и др., 2011в – Антропогенная трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Лены / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. // Водные ресурсы. 2011в. Т. 38. № 2. С. 181–192.

Никаноров и др., 2011г – Антропогенная трансформация структурной организации гидробиоценоза устьевой области р. Лены / Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. // Водные ресурсы. 2011г. Т. 38. № 3. С. 306–314.

Никаноров, Брызгалов, 2011 – Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть IV. Реки Дальнего Востока. Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2011. 324 с.

Никаноров и др., 2012 – Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Кондакова М.Ю. Реки России. Часть V. Реки Приазовья. Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2012. 316 с.

Полонский, 1995 – Полонский В.Ф. Особенности современных гидролого-морфологических процессов дельты Волги // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 5. С. 517–527.

Полонский, Байгин, 1986 – Полонский В.Ф., Байгин С.С. Распределение и перераспределение стоков в дельте Волги // Труды ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 111–122.

Полонский, 1984 – Полонский В.Ф. Распределение стока воды в устьевой области Печоры и тенденция его изменения // Труды ГОИН. 1984. Вып. 172. С. 96–110.

Полонский, Кузьмина, 1986 – Полонский В.Ф., Кузьмина В.И. О распределении стока в дельте Северной Двины // Гидрология устьев рек. Труды ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 49–56.

Р 52.24.661-2004 – Р 52.24.661-2004. Рекомендации. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 26 с.

Р 52.24.776-2012 – Р 52.24.776-2012. Рекомендации. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. Ростов н/Д: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2012. 28 с.

РД 52.24.309-2011 – РД 52.24.309-2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов н/Д: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2011. 103 с.

РД 52.24.620-2000 – РД 52.24.620-2000. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование специальной подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 40 с.

РД 52.24.633-2002 – РД 52.24.633-2002. Методические указания. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 32 с.

РД 52.24.643-2002 – РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 29 с.

Решетняк и др., 2013 – Антропогенная трансформация водной экосистемы Нижней Волги / Решетняк О.С., Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С. // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 623–632.

Симов, 1958 – Симов В.Г. Гидрология устьевой области Кубани. М.: Гидрометеиздат, 1958. 140 с.

Симов, 1989 – Симов В.Г. Гидрология устьевых участков рек Азовского моря. М.: Гидрометеиздат, 1989. 327 с.

Сорокина и др., 2006 – Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестник ЮНЦ РАН. 2006. Т. 2. № 2. С. 58–67.

Устьевая область Волги ... 1998 – Устьевая область Волги: гидролого-географические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебания уровня Каспийского моря / под ред. В.Ф. Полонского, В.Н. Михайлова, С.В. Кирьянова. М.: ГЕОС, 1998. 278 с.

Чеботарев, 1970 – Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 306 с.

Эстуарно-дельтовые системы ... 2007 – Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.

Якутия, 1965 – Якутия. Раздел Реки. М.: Наука, 1965. С. 165–194.

Ivanov, Bryzgalov, 2006 – Ivanov V.V., Bryzgalov V.A. White Sea watershed hydrology and anthropogenic impact // White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Chichester, UK: Springer Praxis Publishing, 2006. P. 15–52.

ДЛЯ ЗАМЕТОК



ДЛЯ ЗАМЕТОК



Научное издание

**Брызгало Валентина Александровна
Никаноров Анатолий Максимович
Косменко Людмила Семёновна
Решетняк Ольга Сергеевна**

**УСТЬЕВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ:
АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ**

Редактор А.В. Стахеева
Верстка А.В. Стахеева
Дизайн обложки А.В. Киреев

Подписано в печать 06.07.2015. Заказ № 4525
Гарнитура PT Serif. Тираж 300 экз.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Печ. лист. 9,53. Уч.-изд. лист. 6,43

Издательство Южного федерального университета

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной
и сувенирной продукции Издательско-полиграфического
комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1
тел. (863) 247-80-51