

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САХАЛИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. В. ЛЕОНОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ
ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТРАНСФОРМАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ С, N, P, Si**

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Южно-Сахалинск
Издательство СахГУ
2012

*Печатается по решению учебно-методического совета
Сахалинского государственного университета, 2012 г.*

Рецензенты:

Добролюбов С. А., член-корреспондент РАН, профессор;
Петухов В. И., доктор технических наук, профессор.

Л47 **Леонов, А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2012. – 148 с. ISBN 978-5-88811-410-0**

Представленная в учебном пособии модель воспроизводит биотрансформацию органических и минеральных соединений органогенных элементов (N, P, C, Si) и режим O_2 в водной среде (в двухслойной водной экосистеме) и в поверхностном слое донных отложений. Опыт использования CNPSi-модели показывает, что она может служить своеобразным аналогом водной экосистемы и использоваться в качестве объекта для изучения характерных задач, возникающих в связи с необходимостью исследования важнейших водно-экологических проблем (загрязнение водных экосистем, условия окислительной трансформации веществ в водных экосистемах, самоочищение водоемов, режимы изменчивости концентраций органогенных веществ и реакций водных экосистем на возрастание биогенной нагрузки и др.).

Учебное пособие предназначено для студентов, аспирантов, научных и практических работников, занимающихся изучением условий трансформации и биотрансформации веществ в водоемах, а также решением конкретных задач формирования качества природных вод (самоочищение, евтрофирование, загрязнение водной среды, гидрохимический режим, функционирование водных экосистем).

УДК 504:556(075.8)
ББК 26.22я73

© Леонов А. В., 2008
© Леонов А. В., 2012
© Сахалинский государственный университет, 2012

ISBN 978-5-88811-410-0

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	5
ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ГЛАВА 1. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ CNPSi-МОДЕЛИ	11
1.1. История создания CNPSi-модели	12
1.2. Общее предназначение CNPSi-модели	14
1.3. Перечень переменных CNPSi-модели и описываемых ею процессов	14
1.4. Описание уравнений CNPSi-модели	16
Вопросы для закрепления материала.....	34
ГЛАВА 2. СТРУКТУРНОЕ ОПИСАНИЕ CNPSi-МОДЕЛИ.....	35
2.1. Общая характеристика программы CNPSi-модели.....	36
2.2. Функциональное предназначение подпрограмм и алгоритмов CNPSi-модели	37
Вопросы для закрепления материала.....	41
ГЛАВА 3. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ НА МОДЕЛИ.....	43
3.1. Файл TIMES.....	43
3.2. Файл CONSTANTS	44
3.3. Файл C_month.....	49
3.4. Файл Depi_V.....	53
3.5. Файл WAT	54
3.6. Файл TEMP2.....	55
3.7. Файл Q1...Q10.....	56
3.8. Файл PHYS1...PHYS10	57
3.9. Файл CONC1...CONC10	58
3.10. Файл WIND1...WIND10.....	63
Вопросы для закрепления материала.....	64
ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ	66
4.1. Файлы PLOT1...PLOT10.....	66
4.2. Файл PROD.....	67
4.3. Файл PLOTTRN.....	68
4.4. Файл ПОТОК	69
4.5. Файл SUMVAL	72
4.6. Файлы составляющих балансов соединений P, N, C и O_2	74
4.6.1. Файл InpotP.....	74
4.6.2. Файл InpotN.....	76
4.6.3. Файл InpotC	78
4.6.4. Файл Inpot O_2	79
4.7. Файл OUT	80
Вопросы для закрепления материала.....	81

ГЛАВА 5. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ	82
5.1. Установка обновленной системы отображения результатов моделирования.....	82
5.2. Создание базы данных DB	86
5.3. Процедура построения графиков.....	88
Вопросы для закрепления материала.....	99
ГЛАВА 6. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ВОДАХ ЗАЛИВА АНИВА	100
6.1. Основные сведения о присутствии и процессах трансформации нефтяных углеводородов в морской среде.....	104
6.2. Основные задачи данного исследования с помощью математической модели	108
6.3. Районирование акватории зал. Анива	109
6.4. Входные данные для расчетов на модели	111
6.5. Расчетное поступление биогенных веществ с речным стоком в бухту Лососей.....	116
6.6. Анализ расчетной динамики концентраций биогенных веществ	117
6.7. Сопоставление результатов моделирования с наблюдениями.....	122
6.8. Характеристика динамики биомасс планктонных организмов и показателей их биопroduкции	126
6.9. Расчетная динамика концентраций НУ, биомасс нефтеокисляющих бактерий В4 и их окислительной активности.....	130
6.10. Расчетное поступление НУ из разных источников и их годовой баланс.....	133
6.11. Выводы по результатам модельных исследований	136
Вопросы для закрепления материала.....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
ЛИТЕРАТУРА	142

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

БВ – биогенные вещества;
БП – биопroduктивность;
БЭ – биогенные элементы;
В1 – гетеротрофные бактерии;
В4 – НУ-окисляющие бактерии;
ГМС – гидрометеорологическая станция;
ЗВ – загрязняющие вещества;
НУ, NF – разное обозначение нефтяных углеводородов;
ОВ – органическое вещество;
ОБП – общая биопroduктивность;
ПНУ – потребление нефтяных углеводородов бактериями В4;
ТП – термохалинные поля;
T_w – температура воды, °С;
S_w – соленость воды, ‰ (промилле);
F1, F2, F3 – доминирующие группы фитопланктона соответственно 1-й, 2-й и 3-й функциональных групп;
Z1 – растительный зоопланктон;
Z2 – хищный зоопланктон;
CORG, DOC – обозначение концентрации растворенного органического углерода (C) соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
SiORG, DOSi – обозначение концентрации растворенного органического кремния (Si) соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
SiO4, DISi – обозначение концентрации растворенного неорганического Si соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
NH4, NH₄ – обозначение концентрации растворенного аммонийного азота (N) соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
NO2, NO₂ – обозначение концентрации растворенного нитритного N соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
NO3, NO₃ – обозначение концентрации растворенного нитратного N соответственно при описании программы CNPSi-модели и результатов моделирования;
DON, DOP – обозначения концентраций растворенных органических форм N и P;
DIP – обозначение концентрации растворенных минеральных форм P;
PD, ND и SiD – взвешенные компоненты детрита, содержащие P, N и Si соответственно;
O₂ – растворенный в воде кислород;
N₂ – растворенный в воде азот.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Разработка методов прогноза состояния водоемов и качества водных ресурсов всегда была и остается одним из приоритетных направлений и важнейшей задачей как зарубежных, так и отечественных комплексных (гидрологических, гидрохимических и гидробиологических) исследований. Развитие математического моделирования непосредственно связано с первыми разработками (1920–1930 гг.) – моделями Стритера–Фелпса и Вольтерра–Лотки, описывающими в водной среде соответственно режим кислорода и трофические межпопуляционные взаимоотношения (типа хищник–жертва). Отечественные исследования в 1930–1960 гг. позволили собрать количественную информацию о состоянии отдельных пресноводных объектов и водных масс в морях и океанах, определить показатели турбулентного перемешивания и скорости течений. Особое внимание обращалось на исследование процессов формирования биопродуктивности природных вод, определяющих динамику химических биогенных компонентов, биологических и физических показателей водной среды.

На всех этапах гидрохимических и гидробиологических исследований водоемов (пресноводных и морских) по мере накопления информации об изменении концентраций веществ, биомасс основных трансформаторов биогенных веществ (БВ) – микроорганизмов низших трофических уровней (бактерии, фито-, зоопланктон) и факторов, влияющих на динамику химико-биологических показателей, проявлялось стремление систематизировать полученную информацию и формализовать ее в форме эмпирических уравнений или сравнительно простых математических моделей, чтобы прогнозировать изменения свойств природных вод по основным химико-биологическим показателям. Это диктовалось рядом практических задач, а именно необходимостью прогнозирования качества природных вод в связи со строительством водохранилищ, изучением естественного гидрохимического режима различных водоемов, их евтрофированием и самоочищением, проблемами охраны водных ресурсов от загрязнений.

В 1940–1960-х гг. произошли количественные и качественные изменения в экономике страны, что отразилось на состоянии водных ресурсов (значительно возросли водопотребление, объем сброса загрязненных сточных вод, увеличилась загрязненность отдельных водоемов). Качество вод ухудшилось, а в ряде случаев вода стала непригодной для хозяйственно-питьевого и даже промышленного водоснабжения. Возникла необходимость охраны природных вод и оценки изменения их качественных и количественных показателей. Контроль количества и качества природных вод (в реках, озерах и водохранилищах) стал актуальным направлением исследований для получения объективной информации об изменении концентраций химических и биологических компонентов, определяющих качество водных ресурсов. В решении этой проблемы особенно важна роль естественных наук (гидрохимии, гидробиологии, микробиологии), изучающих химико-биологический состав природных вод, изменение их показателей во времени и пространстве и позволяющих совершенствовать аналитические методы определения концентраций естественных компонентов и загрязняющих веществ в природных водах.

В начале 1960-х гг. наметилось два направления использования математического моделирования в гидрологии. Первое было связано с применением методов математической физики для моделирования речного стока, второе – с методологией системного анализа, позволяющей рассматривать водосбор в

виде единой динамической системы, изучать ее поведение по воздействующим характеристикам на входе (гидрометеоданные) и итоговым характеристикам на выходе (гидрографы стока). Особое место получили так называемые концептуальные модели стока, сочетающие в себе принципы системного подхода и использующие обоснованное описание отдельных процессов образования речного стока (осадки, испарение).

Развитие в 1970-х гг. компьютерной технологии и активное внедрение в практику исследований водных объектов сначала крупных электронно-вычислительных машин, а позже персональных компьютеров и основные достижения в развитии теоретических основ моделирования (гидрологических процессов и процессов биотрансформации веществ в природных водах) создали хорошие предпосылки для активного развития методологии математического моделирования качества природных вод. К настоящему времени уже накоплен опыт математического моделирования практически во всех направлениях водно-экологических исследований – от моделирования чисто гидрологических процессов формирования и генезиса стока, прогнозирования состояния водоема, проектирования и эксплуатации водных и водохозяйственных систем до изучения условий трансформации и биотрансформации веществ в водоемах и решения конкретных задач формирования качества природных вод (самоочищение, евтрофирование, загрязнение водной среды, гидрохимический режим, функционирование водных экосистем).

В исследовании процессов трансформации веществ в природных водах на первых этапах внимание акцентировалось на изучении скоростей снижения концентраций химических веществ, утилизации и последовательных превращениях субстратов сообществом микроорганизмов, а также изучении полноты, скорости и механизма трансформации отдельных химических веществ. Полученные по этим основным направлениям исследований результаты обобщались с акцентом на различные аспекты проблемы (в частности, на изучение биологических и химических процессов трансформации вещества, на моделирование динамики биомасс организмов и субстратов в задачах биологической очистки сточных вод, самоочищения природных вод, евтрофирования водоемов и условий функционирования водных экосистем).

В состав компонентов водной среды входят многие соединения химических элементов и вещества биологического происхождения, а также живое вещество – микроорганизмы различных видов и групп. В водной среде осуществляются физические, химические и биологические процессы, связанные с преобразованием и химико-биологической трансформацией веществ естественного и антропогенного происхождения. При изучении состава компонентов водной среды следует рассматривать указанные процессы не изолированно, а в тесной взаимосвязи. Поэтому современная методология изучения состава компонентов природных вод опирается на принципы системного анализа, объединяющего результаты исследований по основным естественным дисциплинам (химии, физике, биологии, географии, геологии), а также по смежным наукам (геохимии, биохимии, биофизике, биогидрохимии, микро- и гидробиологии).

В последние годы предпринимаются попытки объединения результатов различных исследований с помощью математического моделирования. Имеется чрезвычайно острая потребность в разработке имитационных моделей для изучения задач формирования качества водных ресурсов на основании механизмов процессов трансформации веществ. Актуальной является проблема моделирования достаточно полной био- и гидрохимической обстановки на водоемах, испытывающих антропогенное воздействие. В связи с глобальными

масштабами загрязнения природных вод соединениями биогенных элементов необходимо иметь такие модели, с помощью которых представляется возможным изучать кинетику процессов трансформации соединений биогенных элементов и тенденции изменчивости условий функционирования водных экосистем при их антропогенном евтрофировании.

Создание имитационных математических моделей для изучения проблем качества и состояния природных вод предполагает объединение усилий специалистов разного профиля (математиков, гидрохимиков, гидробиологов, гидрологов, метеорологов). В настоящее время математическое моделирование – самостоятельное научное направление исследований условий функционирования водных экосистем и отдельных задач изучения состояния водных ресурсов. Степень сложности модельных разработок в принципе отражает уровень полученных представлений о предмете, изученности отдельных вопросов формирования состава компонентов природных вод, обеспеченности информацией по отдельным дисциплинам, изучающим состояние водных ресурсов. Методология разработки моделей основана на комбинации детерминистического описания химических, биологических и физических процессов, развивающихся в водной среде. Исследуемые водоемы подразделяются на части, каждая из которых изучается отдельно. В результате получают количественную информацию об изменениях во времени химических и биологических характеристик в зависимости от выраженности воздействия факторов среды обитания (температура, освещенность, прозрачность, водный режим, биогенная нагрузка) на экосистему водоема.

Использование имитационных моделей позволило получить практический опыт и достичь глубокого понимания решающей роли химических, биологических, химико-биологических, физических и физико-химических процессов в самоочищении водоемов (уменьшение концентраций биогенных и загрязняющих веществ в водоемах и водотоках). Механизм самоочищения достаточно сложен и включает в себя комплекс процессов окисления, регенерации, адсорбции, десорбции, взаимодействия химических ингредиентов и т. д. Поскольку сброс неочищенных (или плохо очищенных) сточных вод в природные воды – обычная практика, то самоочищение водоемов иногда рассматривается как естественный процесс, в результате которого водные экосистемы способны восстанавливать свои свойства. Для познания возможностей экосистем и создания условий наиболее эффективного развития самоочищения разработано много математических моделей, в которых внимание акцентируется на изучении интегральных показателей состояния водных ресурсов (содержание O_2 , OB в единицах БПК или ХПК). Появились также модели, в которых рассматривается широкий спектр концентраций соединений биогенных элементов (преимущественно N и P), присутствие которых в водной среде напрямую связано со сбросом загрязненных сточных вод и с тем, что их содержание определяет интенсивность развития микроорганизмов, участвующих в биотрансформации веществ и осуществляющих процессы самоочищения.

Содержание БВ в природных водах определяется условиями развития процессов их потребления планктонными организмами и регенерацией при деструкции OB бактериями. Развитие в водной среде физических, химических и биологических процессов создает и обуславливает определенные особенности пространственного распределения БВ в природных водах. Наиболее четко это прослеживается в водах океанов, где выявлена специфичность пространственного распределения БВ от низких до высоких широт. При этом не только изменяются концентрации БВ, но и соотношения между отдельными биогенными

элементами и между содержанием органических и минеральных фракций конкретных элементов. Объяснить закономерности крупномасштабных пространственных изменений запасов и состава БВ в морских и океанических водах можно с помощью системного подхода и математического моделирования.

В настоящее время основные направления водно-экологических исследований с помощью математического моделирования связаны с насущными задачами биогео- и гидрохимии – изучением скоростей химико-биологических процессов, круговорота веществ в природных водах, условий формирования биопродуктивности водоемов, оценками балансов соединений органических элементов в водной среде, а также комплексным изучением процессов химического обмена на границах раздела вода–атмосфера и вода–дно и химико-биологической трансформации веществ в водной среде и в осадках. Особенно актуальны исследования гидрохимического режима и взаимосвязанные вопросы биопродуктивности водных объектов и, в частности, такие, как: гидрологический и гидрохимический режимы водоемов и их влияние на активность микроорганизмов; биогеохимия водных объектов с учетом их особенностей и антропогенных воздействий; влияние гидрохимических факторов на биопродуктивность водоемов; процессы продуцирования и деструкции органического вещества и влияние на них гидрохимических факторов; условия формирования гидрохимического режима водоемов и определение потенциала биопродуктивности водной среды.

На сегодняшний день разработано достаточно много математических моделей для прогноза изменения качества поверхностных природных вод и состояния водоемов. Особенно активно применяются имитационные модели, способные аналитически и численно исследовать происходящие в водных экосистемах изменения важнейших химических и биологических характеристик. Полнота описания происходящих в водоемах химико-биологических процессов и влияющих на них факторов среды обитания расширяется и углубляется. Современные математические модели, описывающие условия развития процессов трансформации вещества в природных водах и функционирования экосистем водоемов и водотоков, используют значительный объем данных гидрологических, метеорологических, гидрохимических, биологических, седиментологических наблюдений.

С помощью методов математического моделирования на основе взаимосвязанного описания химических, биологических и физических процессов изучаются проблемы формирования химического состава природных вод, его изменения в пространстве и времени. В перспективе модели можно применять для контроля за состоянием водоемов, отслеживания роли антропогенных факторов в формировании качества водных ресурсов, свойств природных вод отдельных водоемов и водотоков, а также бассейнов и акваторий морских экосистем.

В этом учебном пособии приведено описание имитационной гидроэкологической CNPSi-модели – инструмента водно-экологических исследований, при использовании которой в качестве входной информации применяются накопленные гидрометеорологические и гидрохимические данные об изучаемом водном объекте. Модель можно считать инструментом, так как она удобна в применении для пользователя. Вся входная информация систематизирована, должным образом организована и распределена по соответствующим файлам. Выходные параметры модели формируются в процессе ее проигрывания, они должным образом скомпонованы и системно распределены по специальным файлам в зависимости от их смысловой принадлежности (мгновенные и агрегированные концентрации веществ, времена их оборота, мгновенные удельные

и суммарные скорости продукции гидробионтов, внутренние и внешние потоки веществ). Такое подразделение выходной информации классифицирует ее и облегчает пользователю проведение анализа и обобщения результатов моделирования, а также последующую их систематизацию в зависимости от целей и задач исследований.

Для визуализации результатов моделирования в CNPSi-модель встроена специально созданная программа для оперативного анализа результатов расчетов. Взаимодействие CNPSi-модели и программы визуализации результатов расчетов незаменимо, так как для любого изучаемого водоема пользователю приходится оперировать значительным количеством входных и выходных характеристик. Поэтому в идеале для каждого водоема требуется создавать специальные базы входных и выходных параметров (в одной или в нескольких директориях), которые можно обновлять при получении новых данных (наблюдений и расчетов). Такая возможность, а именно создание информационных баз для исследуемых водоемов, в CNPSi-модели предусмотрена, и пользователи могут легко создавать такие базы данных.

Данное пособие состоит из предисловия, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 100 наименований (на русском языке – 74).

ГЛАВА 1

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ CNPSi-МОДЕЛИ

В данном учебном пособии представлена модель, воспроизводящая биотрансформацию органических и минеральных соединений органогенных элементов (N, P, C, Si) и режим O_2 в водной среде (в двуслойной водной экосистеме) и в поверхностном слое донных отложений. Краткое ее название – CNPSi-модель.

Развитие процессов биотрансформации органогенных веществ осуществляется непрерывно как в пресноводных, так и в морских экосистемах. Отличия в скоростях процессов биотрансформации веществ в разных экосистемах определяются природными факторами (или комплексом условий окружающей среды) и степенью антропогенного воздействия, которое может существенно изменить водный или температурный режим водоемов, а также биогенную нагрузку на водную экосистему.

Направления использования любой модели зависят от того, насколько реалистично, детально и в каких масштабах учитываются в ней формализуемые процессы, а также насколько модель адаптирована к описанию этих процессов в реальных условиях. Полученный опыт использования CNPSi-модели показывает, что эта модель способна воспроизводить условия биотрансформации веществ и в пресноводных системах (например, в Рыбинском водохранилище [Леонов и др., 1996] и р. Велеса [Назаров, Леонов, 1999]), и в морских экосистемах: Охотском море [Леонов, Сапожников, 1997] и его акваториях [Пищальник, Леонов, 2003; Леонов, Пищальник, 2005], а также Каспийском [Леонов, Стыгар, 2001] и Белом [Леонов и др., 2004, 2005, 2006] морях.

Опыт использования CNPSi-модели показывает, что она может служить своеобразным аналогом водной экосистемы и использоваться в качестве объекта для изучения характерных задач, возникающих в связи с необходимостью исследования важнейших водно-экологических проблем (загрязнение водных экосистем, условия окислительной трансформации веществ в водных экосистемах, самоочищение водоемов, режимы изменчивости концентраций органогенных веществ и реакций водных экосистем на возрастание биогенной нагрузки и др.).

Приведем некоторые наиболее важные особенности ее общего предназначения и направлений использования, в частности, для изучения общих и частных проблем качества природных вод, таких, например, как:

- евтрофирование природных объектов;
- трансформация (раздельная и совместная) соединений биогенных элементов (C, N, P, Si) в водных экосистемах;
- роль гидробионтов в трансформации и круговороте БВ;
- анализ экспериментальных и натуральных данных наблюдений при изучении условий трансформации БВ;
- особенности развития окислительных процессов и самоочищения водной среды при нарушениях естественных режимов функционирования природных экосистем и различном антропогенном воздействии на водоемы.

1.1. История создания CNPSi-модели

CNPSi-модель была создана на основе объединения и усовершенствования ряда моделей, ранее разработанных и используемых для решения конкретных экологических проблем состояния природных водных ресурсов. Перечислим основные из этих ранее разработанных экологических моделей, поскольку опыт их разработки и использования весьма поучителен и может быть полезен.

1. **Имитационная модель фосфорной системы (BALSECT)**, которая была разработана в Международном институте прикладного системного анализа [Леонов, 1981 с; Леонов, 1986]. Работы по программированию по этой модели были выполнены С. Медовым (Международный институт прикладного системного анализа, г. Лаксенбург, Австрия).

Изначально модель (1) была испытана на разных по количеству и качеству данных наблюдений на оз. Балатон (Венгрия) [Леонов, 1980 b, с; Леонов, Vasiliev, 1981; Леонов, 1981 a, b]. По мере получения информации об изменении в течение года характеристик окружающей среды совершенствовалась структура уравнений и функций, используемых в модели для описания изменения во времени концентраций форм Р и регуляции скоростей процессов их трансформации в водной экосистеме. Последняя версия модели использовалась на достаточно детальных данных, характеризующих непрерывные (за 1976–1979 гг.) изменения параметров водной среды (температура, освещенность, водный режим, биогенная нагрузка) оз. Балатон. Она воспроизвела для указанного периода с приемлемой точностью изменения концентраций форм Р, а также внутренние и внешние потоки его форм в четырех акваториях оз. Балатон [Леонов, 1981 с; Леонов, 1986].

Позже модель (1) использовалась для воспроизведения условий евтрофирования и трансформации форм Р в разных водных объектах умеренной зоны: это финские озера – Куортанинъярви [Varis et al., 1986; Леонов и др., 1987] и Туусуланъярви [Леонов, Ниemi, 1989, 1991], оз. Кубенское [Леонов, 1987], водохранилища Ивановское [Леонов, 1985; Леонов, 1989], Загорской ГАЭС [Леонов и др., 1992], Можайское [Фаст и др., 1996], Учинское [Булдовская, Леонов, 1996] и Южно-Уральское [Леонов и др., 1996] и др. Указанные водоемы относятся либо к мелким водным объектам, либо к водоемам со средними глубинами, но отличаются по морфометрии, гидрологическому режиму, водному балансу, использованию водосборов, составу и типу донных отложений, антропогенной нагрузке и трофическому статусу. Озера Балатон и Куортанинъярви, а также Ивановское и Можайское водохранилища были подразделены при моделировании на отдельные акватории (соответственно на 4, 2, 4 и 4), каждая из которых рассматривалась самостоятельно. Для оз. Кубенского учитывались данные расчетов для мало-, средне- и многоводного годов естественного и проектного гидрологического режимов функционирования и эксплуатации экосистемы водоема. Для оз. Балатон и Учинского водохранилища рассматривались условия влияния факторов среды и антропогенного воздействия для четырех исследованных лет (соответственно 1976–1979 и 1983–1986 гг.).

Полученные для указанных водоемов данные моделирования были сопоставлены и обобщены [Леонов, Булдовская, 1997]. В результате такого обобщения были выведены эмпирические уравнения связей между годовыми величинами внутренних и внешних потоков Р, а также среднегодовых концентраций его форм в экосистемах шести озер и четырех водохранилищ умеренной зоны, нагрузкой по Р и гидрометеорологическими характеристиками водных объектов. Дополнительно было проведено сравнение полученных эмпирических

уравнений с традиционными зависимостями, используемыми для прогноза трофического состояния водоемов. Исследованы возможности применения полученных уравнений для 53 других водоемов, отличающихся по географическому положению, трофическому статусу, морфометрии и гидрологическому режиму [Леонов, Булдовская, 1997].

2. **Модель трансформации соединений N**, в которой наиболее детально воспроизведены важнейшие каналы преобразования форм N при аэробных условиях [Леонов, 1980 a]. Программа для компьютера была подготовлена С. Медовым (Международный институт прикладного системного анализа, г. Лаксенбург, Австрия). Эта модель была использована для анализа достаточно детальных экспериментальных наблюдений по трансформации соединений N в речной, озерной, морской и сточной водах. Впоследствии возможности ее применения были показаны при анализе специально выполненной широкой серии экспериментов с разными исходными концентрациями форм N в речной воде [Toth, Леонов, 1981].

3. **Модель совместной трансформации соединений N, P и режима O₂**, которая использовалась для анализа данных экспериментов, описывающих изменения концентраций биогенных веществ в воде евтрофного оз. Бива (Япония) [Леонов, 1989]. Программа для расчетов на компьютере была подготовлена С. Медовым (Международный институт прикладного системного анализа, г. Лаксенбург, Австрия). Модификация этой модели была применена для прогноза условий трансформации соединений указанных элементов в проектируемом водохранилище [Цхай, Леонов, 1995].

4. **Модель трансформации органического вещества и соединений биогенных элементов**, которая была апробирована на обобщенных наблюдениях 1976–1979 гг. на оз. Ладожское [Леонов и др., 1991]. Работы по программированию этой модели были выполнены М. М. Осташенко (ИВП РАН, Москва). Несмотря на использование весьма ориентировочных данных по биогенной нагрузке, с помощью этой модели было получено хорошее соответствие расчетных концентраций веществ имеющимся наблюдениям в отдельные сезоны в восьми выделенных акваториях водоема. Результаты моделирования позволили характеризовать специфичность внутригодовой изменчивости концентраций БВ, объяснить особенности формирования биогенной нагрузки и балансы веществ в этих выделенных акваториях водоема.

Модель (4) имеет две особенности. Первая состоит в том, что она с начала года воспроизводит условия трансформации БВ и растворенного O₂ в однослойной экосистеме (условия полного перемешивания по вертикали), а по мере прогрева верхнего слоя переходит на расчет компонентов в двухслойной экосистеме (учет формирующейся при прогреве стратификации вод в глубоком водоеме). Второй важной особенностью модели (4) является унификация описания процессов водообмена и переноса веществ через границы выделенных акваторий. Матричный ввод данных по водному режиму предусматривает возможность описания входными данными любого подразделения водоема на акватории и их меняющихся взаимодействий по водообмену в течение изучаемого периода времени. Такой ввод в модель данных по водному режиму исключает необходимость ее корректировки в описании подразделения водоема на акватории при переходе с уже исследованного водного объекта на другой, который только предстоит исследовать и подразделение которого на участки может существенно отличаться (по числу выделяемых акваторий и их взаимодействию) от ранее исследованного водоема.

5. Модель совместной биотрансформации соединений С, N, P и режима O_2 во взаимосвязанных мелких евтрофных водоемах воспроизводит комплекс процессов трансформации БВ под влиянием биологического сообщества (бактерии, фито-, зоопланктон, макрофиты) [Леонов и др., 1994]. Программа для компьютера по этой модели была составлена В. М. Николаевым (ИНБИОМ, Севастополь). Эта модель может использоваться для одновременного исследования процессов биотрансформации веществ в десяти взаимосвязанных акваториях одного водоема или десяти разных водоемов (озера, водохранилища, пруды). Модель включает в себя систему отображения результатов расчетов и позволяет проводить оперативную обработку данных моделирования с выводом их на дисплей (или принтер) в виде графиков, диаграмм и таблиц. Предварительное испытание модели было проведено по ежемесячной (за 1990/1991 гг.) информации за изменчивостью концентраций БВ в прошедших очистку бытовых сточных водах (район Планерское, Крымский п-ов). Предполагалось, что именно сточные воды этого региона будут сбрасываться в систему проектируемых водоемов (прудов-отстойников), а условия их евтрофирования будут определяться скоростями поступления БВ. Начальные их концентрации в первом водоеме задавались в соответствии с их концентрациями в сточных водах и с учетом эффекта разбавления сточных вод. К сожалению, расчеты и дальнейшие работы по проектированию завершить не удалось в связи с полным прекращением финансирования данных исследований в 1992 г.

1.2. Общее предназначение CNPSi-модели

Математическая CNPSi-модель описывает взаимосвязанные биогидрохимические циклы N, P и Si, а также трансформацию растворенного органического углерода (DOC) и режим O_2 в двуслойной водной экосистеме [Леонов, Сапожников, 1997]. Эта модель может использоваться для изучения условий функционирования пресноводных и морских экосистем и комплекса прикладных водно-экологических задач, так как учитывает взаимодействие природных и антропогенных факторов и отражает их влияние на морскую среду. Поэтому модель способна воспроизвести имеющиеся различия в распределении и концентрациях химических и биологических характеристик в разных акваториях изучаемого водного объекта.

CNPSi-модель рассчитывает динамику концентраций DOC, O_2 , N-, P- и Si – содержащих органических и минеральных веществ при их биотрансформации в водной среде сообществом водных микроорганизмов (бактерио-, фито-, зоопланктон, макрофиты) и при развитии процессов обмена веществ на границах вода–дно, вода–воздух, водоем–река, а также при переносе веществ водными массами через границы выделенных акваторий.

1.3. Перечень переменных CNPSi-модели и описываемых ею процессов

CNPSi-модель учитывает следующие соединения P, N и Si в водной среде: детритный P (PD), N (ND), Si (SiD), растворенные неорганический P (DIP), неорганический Si (SiO_4), органический P (DOP), органический N (DON), органический Si (SiORG), аммонийный N (NH_4), нитритный N (NO_2), нитратный

N (NO_3), органический C (Corg), N мочевины (UR), свободный азот (N_2). Также модель включает компоненты соединений биогенных элементов в донных отложениях – взвешенные соединения P, N и Si (соответственно PDs, NDs и SiDs), растворенный органический C (CORGs), минеральные компоненты N (NH_4s и NO_3s), P (DIPs) и Si (SiO_4s), а также растворенные газы (O_2sed и N_2s). Единицы измерения указанных компонентов – мг Элемента/л. Взаимодействия указанных компонентов модели показаны схематично на рис. 1.1.

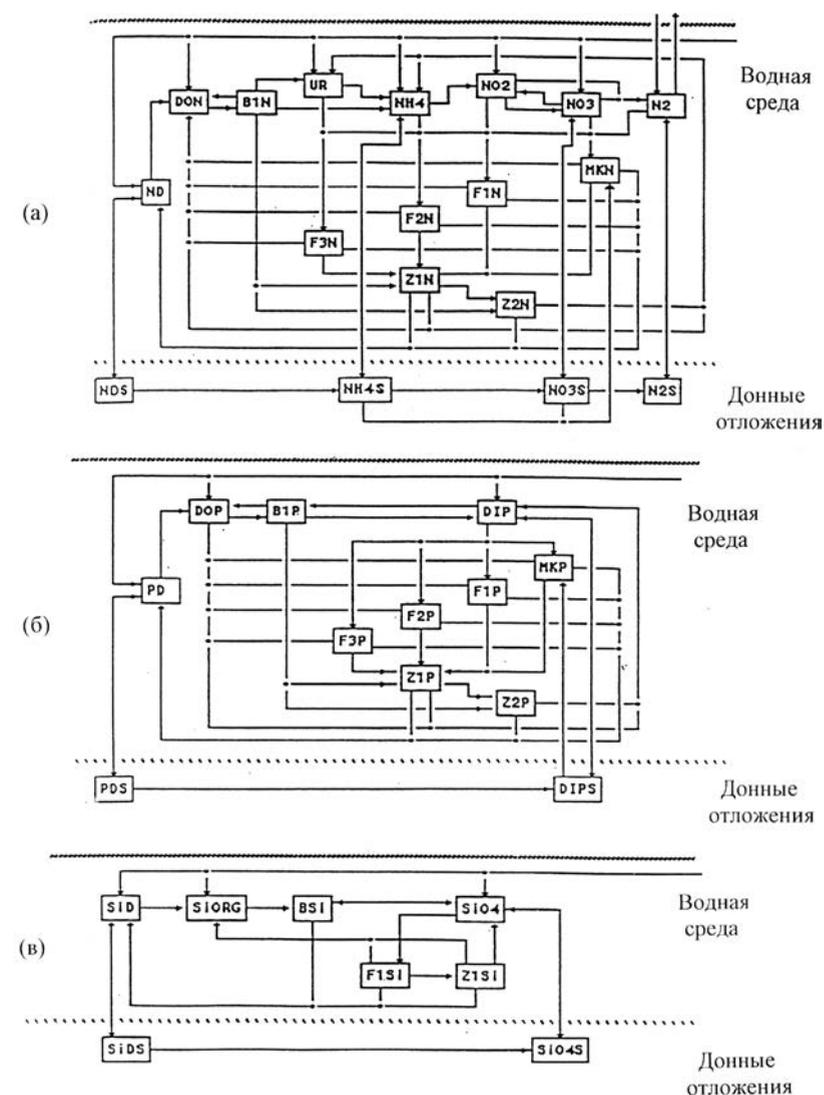


Рис. 1.1. Используемые в модели CNPSi схемы взаимодействия соединений N (а), P (б) и Si (в)

CNPSi-модель описывает функционирование сообщества водных микроорганизмов – гетеротрофных бактерий B1, NH_4 -окисляющих бактерий (группы *Nitrosomonas*) B2, NO_2 -окисляющих бактерий (группы *Nitrobacter*) B3, нефтеокисляющих бактерий B4, фенолоксиляющих бактерий B5, трех доминирующих

групп фитопланктона (F1, F2 и F3), двух групп зоопланктона (растительноядного Z1 и хищного Z2), а также макрофитов (МК).

Развитие биотрансформации вещества в морской среде формализовано в модели на основе имеющихся представлений о процессах круговорота веществ в водных экосистемах: утилизации микроорганизмами отдельных субстратов, образовании живой биомассы, выделении продуктов обмена веществ и формировании детрита.

В принципе модель воспроизводит переходные процессы формирования биомассы и изменения концентраций ОВ и БВ и фактически отражает реакцию экосистемы на внешние воздействия, которые передаются информацией об изменении факторов состояния водной среды (водный режим, температура, освещенность и прозрачность водной среды, биогенная нагрузка). Для каждого выделенного участка модель оценивает мгновенные переходные состояния в скоростях изменения и значениях концентраций веществ в зависимости от внешних воздействий, определяемых значениями факторов среды обитания. Результаты моделирования позволяют выявить особенности внутригодовой динамики биомасс и концентраций химических веществ в зависимости от комплекса условий среды и в итоге охарактеризовать особенности развития процессов биотрансформации БВ и ОВ в изучаемых акваториях экосистемы по достаточно полному набору расчетных характеристик (скорости отдельных процессов, внутренние и внешние потоки веществ, их баланс, биогенная нагрузка).

1.4. Описание уравнений CNPSi-модели

Воспроизводимая CNPSi-моделью биотрансформация соединений органо-генных элементов осуществляется сообществом микроорганизмов: гетеротрофные бактерии (B1) потребляют органические соединения и в процессе метаболизма образуют пул минеральных веществ; бактерии вида *Nitrosomonas* (B2) потребляют аммоний и выделяют в среду нитриты; бактерии вида *Nitrobacter* (B3) потребляют нитриты и выделяют в среду нитраты; фитопланктон (F1, F2 и F3), а также макрофиты (МК) утилизируют минеральные вещества и формируют запас органических веществ в водной среде; зоопланктонные организмы (Z1 и Z2) регулируют динамику организмов сообщества и своей активностью влияют на развитие продукционно-деструкционных процессов. Например, в экосистеме Охотского моря доминируют три функциональные группы фитопланктонных организмов – диатомовые, перидиниевые и зеленые водоросли (их обозначения: F1 – диатомовые; F2 – перидиниевые и F3 – зеленые). В сообществе зоопланктона выделяются растительноядные (Z1) и хищные (Z2) организмы.

В модели учтена возможность трансформации загрязняющих веществ, в частности, нефтепродуктов (NF) и фенола (FNL) соответственно нефте- и фенолоксиляющими бактериями (обозначенными B4 и B5).

Биомасса бактерий B1 вычисляется в модели в единицах С (B1C), N (B1N), P (B1P) и Si (B1Si); биомасса B2 и B3 – в единицах N (B2N и B3N); биомасса B4 и B5 – в единицах С (B4C и B5C); фитопланктона первой группы – в единицах Si (F1Si), N (F1N) и P (F1P); второй и третьей групп – в единицах N (F2N, F3N) и P (F2P, F3P); макрофитов – в единицах N (МКN) и P (МКP), растительноядного зоопланктона – в единицах Si (Z1Si), N (Z1N) и P (Z1P), а хищного зоопланктона – в единицах N (Z2N) и P (Z2P).

Описание процессов биотрансформации веществ в модели основано на имеющихся представлениях о круговороте вещества в водной среде – одновре-

менной утилизации соответствующими группами микроорганизмов отдельных субстратов и образовании своей биомассы, выделении продуктов метаболизма и формировании детрита. Потребляемые микроорганизмами субстраты могут быть взаимозаменяемыми (соединения одного элемента) и невзаимозаменяемыми (соединения разных элементов). Фактически модель воспроизводит переходные процессы и описывает реакцию водной экосистемы на изменения условий среды обитания или на изменение хотя бы одного из учитываемых в модели факторов (водный режим, температура, освещенность водной среды, биогенная нагрузка). Переходные состояния рассматриваются в модели для каждой выделяемой внутри одного водного объекта акватории, и поэтому результаты моделирования дают возможность выявить специфику динамики веществ и развития процессов их биотрансформации в изучаемом водоеме по широкому набору расчетных критериев (скоростям отдельных процессов, внутренним потокам веществ, биогенной нагрузке).

Формулирование отдельных терминов модели для описания процессов потребления веществ микроорганизмами, выделения ими продуктов обмена и отмирания гидробионтов выполнено с учетом условий полисубстратной среды [Леонов, 1986; 1989; Леонов и др., 1991; 1994]. В общем виде изменение концентраций компонентов C(ijk) (в мг Элемента/л) в модели описывается уравнением:

$$dC(ijk)/dt = R(ijk) + LOAD(ijk) + TR(ijk), \quad (1)$$

где i – счетчик для числа выделенных акваторий (например, для Охотского моря $i = 10$ в соответствии с использованным подразделением моря на акватории); j – счетчик модели для рассмотрения выделенных слоев ($j = 2$); k – счетчик для рассчитываемых компонентов модели ($k = 29$); $R(ijk)$, $LOAD(ijk)$, $TR(ijk)$ – скорости изменения концентраций веществ соответственно за счет взаимодействий химических и биологических компонентов, поступления веществ из внешних источников и пространственного (горизонтального и вертикального) переноса (все имеют размерность мг Элемента/(л сут)).

Имеющийся пул органо-генных веществ для организмов рассматриваемого в модели сообщества представлен следующими уравнениями:

$$\text{– для гетеротрофных бактерий (B1):} \\ \text{по Corg: } plB1C = d(1)*CORG, \quad (2)$$

$$\text{по N: } lB1N = d(2)*DON + d(3)*ND + d(191)*UR, \quad (3)$$

$$\text{по P: } plB1P = d(4)*DOP + d(5)*DIP + d(6)*PD, \quad (4)$$

$$\text{по Si: } plB1Si = d(203)*SiORG + d(206)*SiO_4 + d(207)*SiD; \quad (5)$$

$$\text{– для } Nitrosomonas \text{ (B2):} \\ \text{по N: } plB2N = d(7)*NH_4; \quad (6)$$

$$\text{– для } Nitrobacter \text{ (B3):} \\ \text{по N: } plB3N = d(8)*NO_2; \quad (7)$$

$$\text{– для нефтеоксиляющих бактерий (B4):} \\ \text{по C: } plB4C = d(9)*NF + d(10)*CORG; \quad (8)$$

$$\text{– для фенолоксиляющих бактерий (B5):} \\ \text{по C: } plB5C = d(11)*FNL; \quad (9)$$

– для первой группы водорослей (F1):
 по N: $plF1N = d(12)*NH_4 + d(13)*NO_2 + d(14)*NO_3 + d(15)*DON + d(192)*UR,$ (10)
 по P: $plF1P = d(16)*DOP + d(17)*DIP,$ (11)
 по Si: $plF1Si = d(188)*SiO_4;$ (12)

– для второй группы водорослей (F2):
 по N: $plF2N = d(18)*NH_4 + d(19)*NO_2 + d(20)*NO_3 + d(21)*DON + d(187)*N_2 + d(193)*UR,$ (13)
 по P: $plF2P = d(22)*DOP + d(23)*DIP;$ (14)

– для третьей группы водорослей (F3):
 по N: $plF3N = d(24)*NH_4 + d(25)*NO_2 + d(26)*NO_3 + d(27)*DON + d(194)*UR,$ (15)
 по P: $plF3P = d(28)*DOP + d(29)*DIP;$ (16)

– для растительного зоопланктона (Z1):
 по N: $plZ1N = d(30)*ND + d(31)*DON + d(32)*NH_4 + d(33)*NO_2 + d(34)*NO_3 + d(35)*F1N + d(36)*F2N + d(37)*F3N + d(195)*B1N,$ (17)
 по P: $plZ1P = d(38)*PD + d(39)*DOP + d(40)*DIP + d(41)*F1P + d(42)*F2P + d(43)*F3P + d(199)*B1P,$ (18)
 по Si: $plZ1Si = d(189)*F1Si + d(190)*SiD;$ (19)

– для хищного зоопланктона (Z2):
 по N: $plZ2N = d(44)*ND + d(45)*DON + d(46)*NH_4 + d(47)*NO_2 + d(48)*NO_3 + d(49)*B1N + d(52)*Z1N + d(196)*F1N + d(197)*F2N + d(198)*F3N,$ (20)
 по P: $plZ2P = d(53)*PD + d(54)*DOP + d(55)*DIP + d(56)*B1P + d(57)*Z1P + d(200)*F1P + d(201)*F2P + d(202)*F3P;$ (21)

– для макрофитов (МК):
 по N: $plMKN = d(58)*NH_4 + d(59)*NO_2 + d(60)*NO_3 + d(61)*DON + d(184)*NH_{4s} + d(185)*NO_{3s},$ (22)
 по P: $plMKP = d(62)*DOP + d(63)*DIP + d(186)*DIPs,$ (23)

где $d(k)$ – коэффициенты предпочтения в потреблении гидробионтами отдельных субстратов (химических и биологических компонентов).

Удельная скорость потребления органических веществ гетеротрофными бактериями (UPB1) воспроизводится в модели уравнением:

$$UPB1 = (K(1)*rtB1) / (1 + m1), \quad (24)$$

$$\text{где } m1 = B1C/plB1C + B1N/plB1N + B1P/plB1P + B1Si/plB1Si, \quad (25)$$

где $K(1)$ – максимальная скорость потребления веществ гетеротрофными бактериями, сут⁻¹; $rtB1$ – функция для коррекции $K(1)$ на температуру воды.

Удельные скорости потребления субстратов бактериями B2, B3, B4 и B5 представлены следующими уравнениями:

$$upB2 = ko(2)/(1 + B2N/plB2N), \quad (26)$$

$$upB3 = ko(3)/(1 + B3N/plB3N), \quad (27)$$

$$upB4 = ko(4)/(1 + B4C/plB4C), \quad (28)$$

$$upB5 = ko(5)/(1 + B5C/FNL), \quad (29)$$

где $ko(2)$, $ko(3)$, $ko(4)$ и $ko(5)$ – скорректированные на температуру значения максимальных скоростей потребления субстратов $K(2)$ – $K(5)$ соответственно бактериями B2, B3, B4 и B5.

Скорости потребления отдельных субстратов гетеротрофными бактериями задаются следующими уравнениями:

$$- \text{Corg: } UPB1C = (K(1)*rtB1*d(1)*Corg*plB1N*plB1P)/mb1, \quad (30)$$

$$- \text{DON: } UPB1DON = (K(1)*rtB1*d(2)*DON*plB1C*plB1P)/mb1, \quad (31)$$

$$- \text{ND: } UPB1ND = (K(1)*rtB1*d(3)*ND*plB1C*plB1P)/mb1, \quad (32)$$

$$- \text{UR: } UPB1UR = (K(1)*rtB1*d(191)*UR*plB1C*plB1P)/mb1, \quad (33)$$

$$- \text{DOP: } UPB1DOP = (K(1)*rtB1*d(4)*DOP*plB1C*plB1N)/mb1, \quad (34)$$

$$- \text{DIP: } UPB1DIP = (K(1)*rtB1*d(5)*DIP*plB1C*plB1N)/mb1, \quad (35)$$

$$- \text{PD: } UPB1PD = (K(1)*rtB1*d(6)*PD*plB1C*plB1N)/mb1, \quad (36)$$

$$\text{где } mb1 = plB1C*plB1N*plB1P*plB1Si + B1C*plB1N*plB1P*plB1Si + B1N*plB1C*plB1P*plB1Si + B1P*plB1C*plB1N*plB1Si + B1Si*plB1C*plB1N*plB1P. \quad (37)$$

Скорости потребления субстратов нефтеокисляющими бактериями B4 задаются уравнениями:

$$upB4NF = (ko(4)*d(9)*NF)/mb4, \quad (38)$$

$$upB4C = (ko(4)*d(10)*Corg)/mb4, \quad (39)$$

$$\text{где } mb4 = plB4C + B4C. \quad (40)$$

Удельные скорости потребления органических веществ фитопланктоном (UPFi) задаются в модели уравнениями:

$$- \text{для водорослей первой группы (F1): } UPF1 = (K(6)*rtF1*riF1) / (1 + m2), \quad (41)$$

$$\text{где } m2 = F1N/plF1N + F1P/plF1P + F1Si/plF1Si; \quad (42)$$

$$- \text{для водорослей второй группы (F2): } UPF2 = (K(7)*rtF2*riF2) / (1 + m3), \quad (43)$$

$$\text{где } m3 = F2N/plF2N + F2P/plF2P; \quad (44)$$

$$- \text{для водорослей третьей группы (F3): } UPF2 = (K(8)*rtF3*riF3) / (1 + m4), \quad (45)$$

$$m4 = F3N/plF3N + F3P/plF3P, \quad (46)$$

где $K(6)$, $K(7)$, $K(8)$ – максимальные скорости потребления веществ фитопланктоном первой, второй и третьей групп соответственно, сут⁻¹; $rtF1$, $rtF2$, $rtF3$ – функции для коррекции величин констант $K(6)$ – $K(8)$, соответственно, на температуру воды; $riF1$, $riF2$, $riF3$ – функции для коррекции величин констант $K(6)$ – $K(8)$ на условия освещенности водной среды.

Скорости потребления органогенных веществ фитопланктоном задаются в модели следующими уравнениями:

– для водорослей первой группы (F1):

$$- \text{NH}_4: \text{UPF1NH}_4 = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(12) * \text{NH}_4 * \text{plF1P} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (47)$$

$$- \text{NO}_2: \text{UPF1NO}_2 = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(13) * \text{NO}_2 * \text{plF1P} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (48)$$

$$- \text{NO}_3: \text{UPF1NO}_3 = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(14) * \text{NO}_3 * \text{plF1P} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (49)$$

$$- \text{DON}: \text{UPF1DON} = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(15) * \text{DON} * \text{plF1P} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (50)$$

$$- \text{UR}: \text{UPF1UR} = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(192) * \text{UR} * \text{plF1P} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (51)$$

$$- \text{DOP}: \text{UPF1DOP} = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(16) * \text{DOP} * \text{plF1N} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (52)$$

$$- \text{DIP}: \text{UPF1DIP} = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(17) * \text{DIP} * \text{plF1N} * \text{plF1Si}) / \text{mf1}, \quad (53)$$

$$- \text{SiO}_4: \text{UPF1Si} = (K(6) * \text{rtF1} * \text{riF1} * d(188) * \text{SiO}_4 * \text{plF1N} * \text{plF1P}) / \text{mf1}, \quad (54)$$

$$\text{где } \text{mf1} = \text{plF1N} * \text{plF1P} * \text{plF1Si} + \text{F1N} * \text{plF1P} * \text{plF1Si} + \text{F1P} * \text{plF1N} * \text{plF1Si} + \text{F1Si} * \text{plF1N} * \text{plF1P}; \quad (55)$$

– для водорослей второй группы (F2):

$$- \text{NH}_4: \text{UPF2NH}_4 = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(18) * \text{NH}_4 * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (56)$$

$$- \text{NO}_2: \text{UPF2NO}_2 = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(19) * \text{NO}_2 * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (57)$$

$$- \text{NO}_3: \text{UPF2NO}_3 = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(20) * \text{NO}_3 * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (58)$$

$$- \text{DON}: \text{UPF2DON} = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(21) * \text{DON} * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (59)$$

$$- \text{UR}: \text{UPF2UR} = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(193) * \text{UR} * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (60)$$

$$- \text{N}_2: \text{UPF2N}_2 = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(187) * \text{N}_2 * \text{plF2P}) / \text{mf2}, \quad (61)$$

$$- \text{DOP}: \text{UPF2DOP} = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(22) * \text{DOP} * \text{plF2N}) / \text{mf2}, \quad (62)$$

$$- \text{DIP}: \text{UPF2DIP} = (K(7) * \text{rtF2} * \text{riF2} * d(23) * \text{DIP} * \text{plF2N}) / \text{mf2}, \quad (63)$$

$$\text{где } \text{mf2} = \text{plF2N} * \text{plF2P} + \text{F2N} * \text{plF2P} + \text{F2P} * \text{plF2N}; \quad (64)$$

– для водорослей третьей группы (F3):

$$- \text{NH}_4: \text{UPF3NH}_4 = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(24) * \text{NH}_4 * \text{plF3P}) / \text{mf3}, \quad (65)$$

$$- \text{NO}_2: \text{UPF3NO}_2 = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(25) * \text{NO}_2 * \text{plF3P}) / \text{mf3}, \quad (66)$$

$$- \text{NO}_3: \text{UPF3NO}_3 = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(26) * \text{NO}_3 * \text{plF3P}) / \text{mf3}, \quad (67)$$

$$- \text{DON}: \text{UPF3DON} = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(27) * \text{DON} * \text{plF3P}) / \text{mf3}, \quad (68)$$

$$- \text{UR}: \text{UPF3UR} = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(194) * \text{UR} * \text{plF3P}) / \text{mf3}, \quad (69)$$

$$- \text{DOP}: \text{UPF3DOP} = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(28) * \text{DOP} * \text{plF3N}) / \text{mf3}, \quad (70)$$

$$- \text{DIP}: \text{UPF3DIP} = (K(8) * \text{rtF3} * \text{riF3} * d(29) * \text{DIP} * \text{plF3N}) / \text{mf3}, \quad (71)$$

$$\text{где } \text{mf3} = \text{plF3N} * \text{plF3P} + \text{F3N} * \text{plF3P} + \text{F3P} * \text{plF3N}. \quad (72)$$

Удельные скорости потребления субстратов зоопланктоном (UPZi) представлены в модели уравнениями:

– для растительного зоопланктона (Z1):

$$\text{UPZ1} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1}) / (1 + m5), \quad (73)$$

$$\text{где } m5 = \text{Z1N} / \text{plZ1N} + \text{Z1P} / \text{plZ1P} + \text{Z1Si} / \text{plZ1Si}; \quad (74)$$

– для хищного зоопланктона (Z2):

$$\text{UPZ2} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2}) / (1 + m6), \quad (75)$$

$$\text{где } m6 = \text{Z2N} / \text{plZ2N} + \text{Z2P} / \text{plZ2P}, \quad (76)$$

где K(9), K(10) – максимальные скорости потребления веществ растительным и хищным зоопланктоном, соответственно, сут⁻¹; rtZ1, riZ2 – функции для коррекции величин K(9) и K(10), соответственно, на температуру воды; riZ1, riZ2 – функции для коррекции величин K(9) и K(10) на условия освещенности водной среды.

Скорости потребления органогенных компонентов зоопланктоном представлены в модели следующими уравнениями:

– для растительного зоопланктона (Z1):

$$- \text{ND}: \text{UPZ1ND} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(30) * \text{ND} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (77)$$

$$- \text{DON}: \text{UPZ1DON} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(31) * \text{DON} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (78)$$

$$- \text{NH}_4: \text{UPZ1NH}_4 = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(32) * \text{NH}_4 * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (79)$$

$$- \text{NO}_2: \text{UPZ1NO}_2 = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(33) * \text{NO}_2 * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (80)$$

$$- \text{NO}_3: \text{UPZ1NO}_3 = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(34) * \text{NO}_3 * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (81)$$

$$- \text{BN}: \text{UPZ1B1N} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(195) * \text{B1N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (82)$$

$$- \text{F1N}: \text{UPZ1F1N} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(35) * \text{F1N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (83)$$

$$- \text{F2N}: \text{UPZ1F2N} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(36) * \text{F2N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (84)$$

$$- \text{F3N}: \text{UPZ1F3N} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(37) * \text{F3N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (85)$$

$$- \text{PD}: \text{UPZ1PD} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(38) * \text{PD} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (86)$$

$$- \text{DOP}: \text{UPZ1DOP} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(39) * \text{DOP} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (87)$$

$$- \text{DIP}: \text{UPZ1DIP} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(40) * \text{DIP} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (88)$$

$$- \text{F1P}: \text{UPZ1F1P} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(41) * \text{F1P} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (89)$$

$$- \text{F2P}: \text{UPZ1F2P} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(42) * \text{F2P} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (90)$$

$$- \text{F3P}: \text{UPZ1F3P} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(43) * \text{F3P} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (91)$$

$$- \text{BP}: \text{UPZ1B1P} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(199) * \text{B1P} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si}) / \text{mz1}, \quad (92)$$

$$- \text{F1Si}: \text{UPZ1F1Si} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(189) * \text{F1Si} * \text{plZ1N} * \text{plZ1P}) / \text{mz1}, \quad (93)$$

$$- \text{SiD}: \text{UPZ1SiD} = (K(9) * \text{rtZ1} * \text{riZ1} * d(190) * \text{SiD} * \text{plZ1N} * \text{plZ1P}) / \text{mz1}, \quad (94)$$

$$\text{где } \text{mz1} = \text{plZ1N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si} + \text{Z1N} * \text{plZ1P} * \text{plZ1Si} + \text{Z1P} * \text{plZ1N} * \text{plZ1Si} + \text{Z1Si} * \text{plZ1N} * \text{plZ1P}; \quad (95)$$

– для хищного зоопланктона (Z2):

$$- \text{ND}: \text{UPZ2ND} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(44) * \text{ND} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (96)$$

$$- \text{DON}: \text{UPZ2DON} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(45) * \text{DON} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (97)$$

$$- \text{NH}_4: \text{UPZ2NH}_4 = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(46) * \text{NH}_4 * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (98)$$

$$- \text{NO}_2: \text{UPZ2NO}_2 = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(47) * \text{NO}_2 * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (99)$$

$$- \text{NO}_3: \text{UPZ2NO}_3 = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(48) * \text{NO}_3 * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (100)$$

$$- \text{B1N}: \text{UPZ2B1N} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(49) * \text{B1N} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (101)$$

$$- \text{F1N}: \text{UPZ2F1N} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(196) * \text{F1N} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (102)$$

$$- \text{F2N}: \text{UPZ2F2N} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(197) * \text{F2N} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (103)$$

$$- \text{F3N}: \text{UPZ2F3N} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(198) * \text{F3N} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (104)$$

$$- \text{Z1N}: \text{UPZ2Z1N} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(52) * \text{Z1N} * \text{plZ2P}) / \text{mz2}, \quad (105)$$

$$- \text{PD}: \text{UPZ2PD} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(53) * \text{PD} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (106)$$

$$- \text{DOP}: \text{UPZ2DOP} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(54) * \text{DOP} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (107)$$

$$- \text{DIP}: \text{UPZ2DIP} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(55) * \text{DIP} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (108)$$

$$- \text{BP}: \text{UPZ2B1P} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(56) * \text{B1P} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (109)$$

$$- \text{F1P}: \text{UPZ2F1P} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(200) * \text{F1P} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (110)$$

$$- \text{F2P}: \text{UPZ2F2P} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(201) * \text{F2P} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (111)$$

$$- \text{F3P}: \text{UPZ2F3P} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(202) * \text{F3P} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (112)$$

$$- \text{Z1P}: \text{UPZ2Z1P} = (K(10) * \text{rtZ2} * \text{riZ2} * d(57) * \text{Z1P} * \text{plZ2N}) / \text{mz2}, \quad (113)$$

$$\text{где } \text{mz2} = \text{plZ2N} * \text{plZ2P} + \text{Z2N} * \text{plZ2P} + \text{Z2P} * \text{plZ2N}. \quad (114)$$

Удельные скорости потребления субстратов макрофитами (УРМК) представлены в модели следующими уравнениями:

$$upmk = k(11)*rtmk*rimk/(1+m7), \quad (115)$$

$$\text{где } m7 = mkn/plmkn + mkp/plmkp, \quad (116)$$

где $K(11)$ – максимальная скорость потребления веществ макрофитами, сут⁻¹; $rtMK$ и $riMK$ – функции для коррекции величины константы $K(11)$, соответственно, на температуру воды и на условия освещенности водной среды.

Скорости потребления органогенных веществ макрофитами задаются в модели следующими уравнениями:

$$upmknh4 = (ko(11)*d(58)*NH_4*plmkp)/mmk, \quad (117)$$

$$upmknh4s = (ko(11)*d(184)*NH_4s*plmkp)/mmk, \quad (118)$$

$$upmkno2 = (ko(11)*d(59)*NO_2*plmkp)/mmk, \quad (119)$$

$$upmkno3 = (ko(11)*d(60)*NO_3*plmkp)/mmk, \quad (120)$$

$$upmkno3s = (ko(11)*d(185)*NO_3s*plmkp)/mmk, \quad (121)$$

$$upmkdon = (ko(11)*d(61)*don*plmkp)/mmk, \quad (122)$$

$$upnmk = upmknh4 + upmkno2 + upmknh4s + upmkno3 + upmkno3s + upmkdon, \quad (123)$$

$$upmkdop = (ko(11)*d(62)*dop*plmkn)/mmk, \quad (124)$$

$$upmkdip = (ko(11)*d(63)*dip*plmkn)/mmk, \quad (125)$$

$$upmkdips = (ko(11)*d(186)*dips*plmkn)/mmk, \quad (126)$$

$$uppmk = upmkdop + upmkdip + upmkdips, \quad (127)$$

$$\text{где } mmk = plmkn*plmkp + mkn*plmkp + mkp*plmkn. \quad (128)$$

Температурная функция для коррекции констант скорости потребления субстратов гидробионтами имеет вид:

$$rt(i) = w0(i) + (w1(i)*(exp(w2(i)*T) - 1))/(1 + w3(i)*exp(w2(i)*T)) - (w4(i)*(exp(w5(i)*T) - 1))/(1 + w6(i)*exp(w5(i)*T)), \quad (129)$$

здесь i – счетчик рассматриваемых в модели организмов сообщества ($i = 1-11$ для $B1; B2, B3, B4, B5, F1; F2; F3; Z1, Z2$ и MK соответственно); T – температура воды в °C; $w0(i) - w6(i)$ – константы функции (129), оцениваемые при численной реализации модели. Значения $rt(i)$ меняются от нуля до одного. Первый член функции (129) воспроизводит возможный минимум активности гидробионтов (в долях от оптимума, при котором $rt(i) = 1$) при температурах, близких к нулю; второй член описывает рост активности гидробионтов до оптимума при возрастании температуры водной среды; третий член функции (129) показывает изменение активности гидробионтов при температурах, превышающих оптимальные.

Значения коэффициентов $riF(i)$ (здесь $i = 1 - 3$ соответственно для $F1, F2$ и $F3$) и $riMK$, корректирующих величины максимальной скорости потребления субстратов фитопланктонными организмами и макрофитами в зависимости от условий освещенности, вычисляются по уравнению:

$$riF(i) = (e/Ke h)*(exp(-rx) - exp(-ri)), \quad (130)$$

$$\text{в котором } Ke = 1.9/ds+h(15)*(Xл''a'') + h(16)*(Xл''a'')**h(17), \quad (131)$$

$$ri = rad(av)/rad(opt), \quad (132)$$

$$rx = ri*exp(-Ke H), \quad (133)$$

$$rad = rad(0) * exp(-Ke H), \quad (134)$$

$$Xл''a'' = h(12)*F1P + h(13)*F2P + h(14)*F3P, \quad (135)$$

где H – глубина рассматриваемого слоя, м; $rad(av)$; $rad(opt)$ и $rad(0)$ – средняя суточная освещенность, оптимальное значение освещенности для соответствующей группы фитопланктонных организмов и величина освещенности на водной поверхности, соответственно, кал/(см² сут); Ke – коэффициент экстинкции света с глубиной, 1/м; ds – прозрачность воды, м; $h(12)-h(14)$ – стехиометрические коэффициенты для пересчета биомасс фитопланктона в мгР/л в единицы хлорофилла в мкг/л; $h(15)-h(17)$ – коэффициенты для коррекции Ke на содержание хлорофилла.

Для верхнего слоя величина H задается уравнением:

$$H = H(\phi) + h(18)*ds/2, \quad (136)$$

здесь $H(\phi)$ – глубина фотосинтетически активного слоя (принимается равным 0,5 м); $h(18)$ – коэффициент для возможной коррекции величины H при осредненных для верхнего слоя расчетах.

Для нижнего слоя величина H вычисляется по уравнению:

$$H = H(1) + H(2)/2, \quad (137)$$

здесь $H(1)$ и $H(2)$ – соответственно толщина верхнего и нижнего слоев, м.

Изменение освещенности в течение суток $rad(t)$ задается уравнением:

$$rad(t) = (2.0*rad(av)*24.0)/f * (1.0 + cos(2.0*pi*(tn-tp)/f)), \quad (138)$$

где tn – текущее время суток, ч; tp – время максимальной суточной освещенности, принимаемое равным 12 ч; f – фотопериод (отношение продолжительности светового дня в часах к 24 ч); pi – константа, равная 3.14159. Продолжительность светового дня либо берется из справочника, либо может быть оценена по эмпирическому уравнению, связывающему значение этого параметра с широтой места и порядковым номером дня от начала года [Страшкраба, Гнаук, 1989].

Функции $riZ(i)$ (где $i = 1$ или 2 соответственно для $Z1$ или $Z2$) для коррекции величин максимальных скоростей потребления субстратов зоопланктоном ($K(9)$ у $Z1$ и $K(10)$ у $Z2$) на условия освещенности водной среды вычисляются с помощью выражений:

$$riZ(i) = \sin((tn + 0.25) * 6.292), \quad (139)$$

$$riZI(i) = amax1 [riZ(i), 0.1]. \quad (140)$$

Уравнения (139) и (140) основаны на гипотезе, что зоопланктон мигрирует в поверхностный слой в ночное время суток, в светлое время суток величина $riZ(i)$ принимается равной 0.1.

Удельные скорости метаболических выделений организмов, $L(ij)$ и их выделительные активности, $r(ij)$ (здесь i – счетчик для соответствующего элемента, $i = 1-4$ соответственно для C, N, P и Si; j – счетчик для организмов сообщества и $j = 1-6$ для B, F1, F2, F3, Z1, Z2) заданы в модели следующими выражениями:

- для гетеротрофных бактерий B1:
 - по C: $LCB1 = rCB1 * UPB1$, (141)
 - $rCB1 = (a(11) * UPB1) / (1 + a(12) * UPB1) + (1 - a(11)) / a(12)$, (142)
 - по N: $LNB1 = rNB1 * UPB1$, (143)
 - $rNB1 = (a(1) * UPB1) / (1 + a(2) * UPB1) + (1 - a(1)) / a(2)$, (144)
 - по P: $LPB1 = rPB1 * UPB1$, (145)
 - $rPB1 = (a(37) * UPB1) / (1 + a(38) * UPB1) + (1 - a(37)) / a(38)$, (146)
 - по Si: $LSiB1 = rSiB1 * UPB1$, (147)
 - $rSiB1 = (a(43) * UPB1) / (1 + a(44) * UPB1) + (1 - a(43)) / a(44)$; (148)
- для бактерий *Nitrosomonas* B2:
 - по N: $LNB2 = rNB2 * UPB2$, (149)
 - $rNB2 = (a(3) * UPB2) / (1 + a(4) * UPB2) + (1 - a(3)) / a(4)$; (150)
- для бактерий *Nitrobacter* B3:
 - по N: $LNB3 = rNB3 * UPB3$, (151)
 - $rNB3 = (a(5) * UPB3) / (1 + a(6) * UPB3) + (1 - a(5)) / a(6)$; (152)
- для нефтеокисляющих бактерий B4:
 - по C: $LB4 = rB4 * UPB4$, (153)
 - $rB4 = (a(7) * UPB4) / (1 + a(8) * UPB4) + (1 - a(7)) / a(8)$; (154)
- для фенолоокисляющих бактерий B5:
 - по C: $LB5 = rB5 * UPB5$, (155)
 - $rB5 = (a(9) * UPB5) / (1 + a(10) * UPB5) + (1 - a(9)) / a(10)$; (156)
- для водорослей первой группы F1:
 - по N: $LNF1 = rNF1 * UPF1$, (157)
 - $rNF1 = (a(13) * UPF1) / (1 + a(14) * UPF1) + (1 - a(13)) / a(14)$, (158)
 - по P: $LPF1 = rPF1 * UPF1$, (159)
 - $rPF1 = (a(15) * UPF1) / (1 + a(16) * UPF1) + (1 - a(15)) / a(16)$, (160)
 - по Si: $LSiF1 = rSiF1 * UPF1$, (161)
 - $rSiF1 = (a(39) * UPF1) / (1 + a(40) * UPF1) + (1 - a(39)) / a(40)$; (162)
- для водорослей второй группы F2:
 - по N: $LNF2 = rNF2 * UPF2$, (163)
 - $rNF2 = (a(17) * UPF2) / (1 + a(18) * UPF2) + (1 - a(17)) / a(18)$, (164)
 - по P: $LPF2 = rPF2 * UPF2$, (165)
 - $rPF2 = (a(19) * UPF2) / (1 + a(20) * UPF2) + (1 - a(19)) / a(20)$; (166)
- для водорослей третьей группы F3:
 - по N: $LNF3 = rNF3 * UPF3$, (167)
 - $rNF3 = (a(21) * UPF3) / (1 + a(22) * UPF3) + (1 - a(21)) / a(22)$, (168)
 - по P: $LPF3 = rPF3 * UPF3$, (169)
 - $rPF3 = (a(23) * UPF3) / (1 + a(24) * UPF3) + (1 - a(23)) / a(24)$; (170)

- для растительного зоопланктона Z1:
 - по N: $LNZ1 = rNZ1 * UPZ1$, (171)
 - $rNZ1 = (a(25) * UPZ1) / (1 + a(26) * UPZ1) + (1 - a(25)) / a(26)$, (172)
 - по P: $LPZ1 = rPZ1 * UPZ1$, (173)
 - $rPZ1 = (a(27) * UPZ1) / (1 + a(28) * UPZ1) + (1 - a(27)) / a(28)$, (174)
 - по Si: $LSiZ1 = rSiZ1 * UPZ1$, (175)
 - $rSiZ1 = a(41) * UPZ1 / (1 + a(42) * UPZ1) + (1 - a(41)) / a(42)$; (176)
- для хищного зоопланктона Z2:
 - по N: $LNZ2 = rNZ2 * UPZ2$, (177)
 - $rNZ2 = (a(29) * UPZ2) / (1 + a(30) * UPZ2) + (1 - a(29)) / a(30)$, (178)
 - по P: $LPZ2 = rPZ2 * UPZ2$, (179)
 - $rPZ2 = (a(31) * UPZ2) / (1 + a(32) * UPZ2) + (1 - a(31)) / a(32)$; (180)
- для макрофитов МК:
 - по N: $LNMK = rNMK * UPNMK$, (181)
 - $rNMK = (a(33) * UPNMK) / (1 + a(34) * UPNMK) + (1 - a(33)) / a(34)$, (182)
 - по P: $LPMK = rPMK * UPPMK$, (183)
 - $rPMK = (a(35) * UPPMK) / (1 + a(36) * UPPMK) + (1 - a(35)) / a(36)$. (184)

В уравнениях (141)–(184) $a(i)$ – константы выделительной активности гидробионтов, определяемые при численной реализации модели.

Удельные скорости отмирания организмов, $S(ij)$ (здесь i – счетчик для соответствующего элемента, $i = 1-4$ соответственно для C, N, P и Si; j – счетчик для организмов сообщества $j = 1-6$ для B1, B2, B3, B4, B5, F1, F2, F3, Z1, Z2, МК) заданы в модели следующими выражениями:

- для гетеротрофных бактерий B1:
 - по C: $SCB1 = v(44) + v(45) * B1C / UPB1$, (185)
 - по N: $SNB1 = v(1) + v(2) * B1N / UPB1$, (186)
 - по P: $SPB1 = v(42) + v(43) * B1P / UPB1$, (187)
 - по Si: $SSiB1 = v(50) + v(51) * B1Si / UPB1$; (188)
- для бактерий *Nitrosomonas* B2:
 - по N: $SNB2 = v(3) + v(4) * rNB2 + v(5) * B2N / UPB2$; (189)
- для бактерий *Nitrobacter* B3:
 - по N: $SNB3 = v(6) + v(7) * rNB3 + v(8) * B3N / UPB3$; (190)
- для нефтеокисляющих бактерий B4:
 - по C: $SB4 = v(9) + v(10) * rB4 + v(11) * B4C / UPB4$; (191)
- для фенолоокисляющих бактерий B5:
 - по C: $SB5 = v(12) + v(13) * rB5 + v(14) * B5C / UPB5$; (192)
- для водорослей первой группы F1:
 - по N: $SNF1 = v(18) + v(19) * F1N / UPF1$, (193)
 - по P: $SPF1 = v(20) + v(21) * F1P / UPF1$, (194)
 - по Si: $SSiF1 = v(46) + v(47) * F1Si / UPF1$; (195)

– для водорослей второй группы F2:
 – по N: $SNF2 = v(22) + v(23)*F2N/UPF2$, (196)
 – по P: $SPF2 = v(24) + v(25)*F2P/UPF2$; (197)

– для водорослей третьей группы F3:
 – по N: $SNF3 = v(26) + v(27)*F3N/UPF3$, (198)
 – по P: $SPF3 = v(28) + v(29)*F3P/UPF3$; (199)

– для растительного зоопланктона Z1:
 – по N: $SNZ1 = v(30) + v(31)*Z1N/UPZ1$, (200)
 – по P: $SPZ1 = v(32) + v(33)*Z1P/UPZ1$, (201)
 – по Si: $SSiZ1 = v(48) + v(49)*Z1Si/UPZ1$; (202)

– для хищного зоопланктона Z2:
 – по N: $SNZ2 = v(34) + v(35)*Z2N/UPZ2$, (203)
 – по P: $SPZ2 = v(36) + v(37)*Z2P/UPZ2$; (204)

– для макрофитов МК:
 – по N: $SNMK = v(38) + v(39)*MKN/UPNMK$, (205)
 – по P: $SPMK = v(40) + v(41)*MKP/UPPMK$. (206)

В уравнениях (185)–(206) $v(i)$ – константы, оцениваемые при численной реализации модели.

Общие уравнения для описания скорости изменения биомасс микроорганизмов за счет взаимодействий химических и биологических компонентов, $R(ijk)$, рассматриваемого сообщества представлены в модели следующими уравнениями:

– для гетеротрофных бактерий B1:
 по C: $R(ijB1C) = (UPB1 - LCB1 - SCB1)*B1C - g(1)*UPZ2B1N*Z2N -$
 $- g(63)*UPZ1B1N*Z1N$, (207)

по N: $R(ijB1N) = (UPB1 - LNB1 - SNB1)*B1N - UPZ2B1N*Z2N -$
 $- UPZ1B1N*Z1N$, (208)

по P: $R(ijB1P) = (UPB1 - LPB1 - SPB1)*B1P - UPZ2B1P*Z2P -$
 $- UPZ1B1P*Z1P$, (209)

по Si: $R(ijB1Si) = (UPB1 - LSiB1 - SSiB1)*B1Si - UPZ1B1Si*Z1Si -$
 $- g(69)*UPZ2B1N*Z2N$; (210)

– для бактерий *Nitrosomonas* B2:
 по N: $R(ijB2N) = (UPB2 - LNB2 - SNB2)*B2N - UPZ2B2N*Z2N$; (211)

– для бактерий *Nitrobacter* B3:
 по N: $R(ijB3N) = (UPB3 - LNB3 - SNB3)*B3N - UPZ2B3N*Z2N$; (212)

– для нефтеокисляющих бактерий B4:
 по C: $R(ijB4C) = (UPB4 - LB4 - SB4)*B4C$; (213)

– для фенолоокисляющих бактерий B5:
 по C: $R(ijB5C) = (UPB5 - LB5 - SB5)*B5C$; (214)

– для водорослей первой группы F1:
 по N: $R(ijF1N) = (UPF1 - LNF1 - SNF1)*F1N - UPZ1F1N*Z1N -$
 $- UPZ2F1N*Z2N$, (215)
 по P: $R(ijF1P) = (UPF1 - LPF1 - SPF1)*F1P - UPZ1F1P*Z1P -$
 $- UPZ2F1P*Z2P$, (216)

по Si: $R(ijF1Si) = (UPF1 - LSiF1 - SSiF1)*F1Si - UPZ1F1Si*Z1Si$; (217)

– для водорослей второй группы F2:
 по N: $R(ijF2N) = (UPF2 - LNF2 - SNF2)*F2N - UPZ1F2N*Z1N -$
 $- UPZ2F2N*Z2N$, (218)
 по P: $R(ijF2P) = (UPF2 - LPF2 - SPF2)*F2P - UPZ1F2P*Z1P -$
 $- UPZ2F2P*Z2P$; (219)

– для водорослей третьей группы F3:
 по N: $R(ijF3N) = (UPF3 - LNF3 - SNF3)*F3N - UPZ1F3N*Z1N -$
 $- UPZ2F3N*Z2N$, (220)
 по P: $R(ijF3P) = (UPF3 - LPF3 - SPF3)*F3P - UPZ1F3P*Z1P -$
 $- UPZ2F3P*Z2P$; (221)

– для растительного зоопланктона Z1:
 по N: $R(ijZ1N) = (UPZ1 - LNZ1 - SNZ1)*Z1N - UPZ2Z1N*Z2N$, (222)

по P: $R(ijZ1P) = (UPZ1 - LPZ1 - SPZ1)*Z1P - UPZ2Z1P*Z2P$, (223)

по Si: $R(ijZ1Si) = (UPZ1 - LSiZ1 - SSiZ1)*Z1Si$; (224)

– для хищного зоопланктона Z2:
 по N: $R(ijZ2N) = (UPZ2 - LNZ2 - SNZ2)*Z2N$, (225)
 по P: $R(ijZ2P) = (UPZ2 - LPZ2 - SPZ2)*Z2P$; (226)

– для макрофитов МК:
 по N: $R(ijMKN) = (UPNMK - LNMK - SNMK)*MKN$, (227)
 по P: $R(ijMKP) = (UPPMK - LPMK - SPMK)*MKP$. (228)

Уравнения, описывающие биотрансформацию соединений органогенных элементов, записываются с учетом принимаемых во внимание концептуальных схем взаимодействия микроорганизмов и химических веществ (рис. 1.1), а также выражений (207)–(228), воспроизводящих изменения биомасс микроорганизмов.

Итоговые уравнения скоростей изменения концентраций веществ представлены в модели в следующем виде:

– для CORG:
 $R(ijCORG) = g(21)*ko(15)*ND - UPB1C*B1C + g(2)*LB4*B4C +$
 $+ g(3)*LB5*B5C + g(4)*SB4*B4C + g(5)*SB5*B5C +$
 $+ g(20)*SNMK*MKN + g(38)*SCB1*B1C - UPB4C*B4C +$
 $+ ko(32)*(CORGs - CORG)*KSEDI + g(57)*LCB1*B1C +$
 $+ g(58)*LNF1*F1N + g(59)*LNF2*F2N + g(60)*LNF3*F3N +$
 $+ g(61)*LNZ1*Z1N + g(62)*LNZ2*Z2N$
 if (O2.gt.0.2)
 $R(ijCORG) = R(ijCorg) - 0.376*(h(1)*LCB1*B1C + h(4)*LB4*B4C +$
 $+ h(5)*LB5*B5C)$, (229)

– для ND:

$$R(ijND) = -KO(15)*ND - UPB1ND*B1N - UPZ1ND*Z1N - UPZ2ND*Z2N +$$

$$+ SNB1*B1N + SNB2*B2N + SNB3*B3N + SNF1*F1N + SNF2*F2N +$$

$$+ SNF3*F3N + SNZ1*Z1N + SNZ2*Z2N + SNMK*MKN +$$

$$+ KSEDI*NDs*KSEDI*NDs*(ko(17)/dpth**2.0)*wind**h(18) -$$

$$- (ko(18)/dpth)*ND$$

if ((KSLOY.EQ.1).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$ND_add_1 = (ko(18)/dpth)*ND$$

if ((KSLOY.EQ.2).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$R(ijND) = R(ijND) + nd_add_1, \quad (230)$$

– для DON:

$$R(ijDON) = KO(15)*ND - UPB1DON*B1N - UPF1DON*F1N -$$

$$- UPF2DON*F2N - UPF3DON*F3N - UPZ1DON*Z1N -$$

$$- UPZ2DON*Z2N + (1-g(6)-g(55))*LNB1*B1N +$$

$$+ g(7)*LNF1*F1N + g(8)*LNF2*F2N + g(9)*LNF3*F3N +$$

$$+ (1-g(10)-g(50))*LNZ1*Z1N + (1-g(11) -$$

$$- g(51))*LNZ2*Z2N, \quad (231)$$

– для UR:

$$R(ijUR) = -KO(40)*UR - UPB1UR*B1N - UPF1UR*F1N - UPF2UR*F2N -$$

$$- UPF3UR*F3N + g(50)*LNZ1*Z1N + g(51)*LNZ2*Z2N +$$

$$+ g(52)*LNF1*F1N + g(53)*LNF2*F2N + g(54)*LNF3*F3N +$$

$$+ g(55)*LNB1*B1N + g(56)*LNMK*MKN, \quad (232)$$

– для NH₄:

$$R(ijNH_4) = g(6)*LNB1*B1N + g(10)*LNZ1*Z1N + g(11)*LNZ2*Z2N -$$

$$- UPF1NH_4*F1N - UPF2NH_4*F2N - UPF3NH_4*F3N -$$

$$- UPZ1NH_4*Z1N - UPZ2NH_4*Z2N - KO(36)*NH_4 - KO(38)*NH_4 +$$

$$+ KO(40)*UR + (1-g(7)-g(52))*LNF1*F1N + (1-g(8) -$$

$$- g(53))*LNF2*F2N + (1-g(9)-g(54))*LNF3*F3N, \quad (233)$$

– для NO₂:

$$R(ijNO_2) = -UPF1NO_2*F1N - UPF2NO_2*F2N - UPF3NO_2*F3N -$$

$$- UPZ1NO_2*Z1N - UPZ2NO_2*Z2N + KO(36)*NH_4 -$$

$$- KO(37)*NO_2, \quad (234)$$

– для NO₃:

$$R(ijNO_3) = -UPF1NO_3*F1N - UPF2NO_3*F2N - UPF3NO_3*F3N -$$

$$- UPZ1NO_3*Z1N - UPZ2NO_3*Z2N + KO(37)*NO_2 +$$

$$+ KO(38)*NH_4, \quad (235)$$

– для N₂:

$$R(ijN_2) = -UPF2N_2*F2N, \quad (236)$$

– для PD:

$$R(ijPD) = -KO(16)*PD - UPB1PD*B1P - UPZ1PD*Z1P -$$

$$UPZ2PD*Z2P + SPB1*B1P + SPF1*F1P + SPF2*F2P +$$

$$+ SPF3*F3P + SPZ1*Z1P + SPZ2*Z2P + SPMK*MKP +$$

$$+ KSEDI*pds*(ko(28)/dpth**2.0)*wind**h(17) - (ko(29)/dpth)*PD$$

if ((KSLOY.EQ.1).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$pd_add_1 = (ko(29)/dpth)*PD$$

if ((KSLOY.EQ.2).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$R(ijPD) = R(ijPD) + pd_add_1, \quad (237)$$

– для DOP:

$$R(ijDOP) = KO(16)*PD - UPB1DOP*B1P - UPZ1DOP*Z1P -$$

$$- UPZ2DOP*Z2P - UPF1DOP*F1P - UPF2DOP*F2P -$$

$$- UPF3DOP*F3P + (1-g(14))*LPZ2*Z2P + (1-g(15))*LPZ1*Z1P +$$

$$+ g(16)*LPF3*F3P + g(17)*LPF2*F2P + g(18)*LPF1*F1P +$$

$$+ (1-g(19))*LPB1*B1P, \quad (238)$$

– для DIP:

$$R(ijDIP) = -UPZ2DIP*Z2P - UPZ1DIP*Z1P - UPF3DIP*F3P -$$

$$- UPF2DIP*F2P - UPF1DIP*F1P - UPB1DIP*B1P +$$

$$+ g(19)*LPB1*B1P + g(15)*LPZ1*Z1P + g(14)*LPZ2*Z2P, \quad (239)$$

– для SiD:

$$R(ijSiD) = g(45)*LSiF1*F1Si + g(46)*SSiF1*F1Si + g(47)*LSiZ1*Z1Si -$$

$$- s(14)*SiD + g(48)*SSiZ1*Z1Si - ko(39)*SiD - UPZ1SiD*Z1Si -$$

$$- (ko(41)/dpth)*SiD + g(68)*SSiB1*B1Si - UPB1SiD*B1Si +$$

$$+ KSEDI*SIDS*(ko(42)/dpth**2.0)*wind**h(26)$$

if ((KSLOY.EQ.1).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$sid_ad_1 = (ko(41)/dpth)*yyy$$

if ((KSLOY.EQ.2).AND.(MSLOY(NOSECT).EQ.2))

$$R(ijSiD) = R(ijSiD) + sid_ad_1, \quad (240)$$

– для SiO₄:

$$R(ijSiO_4) = KO(39)*SiD - UPF1Si*F1Si + g(65)*LSiZ1*Z1Si +$$

$$+ g(66)*LSiF1*F1Si, \quad (241)$$

– для NF:

$$R(ijNF) = -UPB4NF*B4C, \quad (242)$$

– для FNL:

$$R(ijFNL) = -UPB5*B5C, \quad (243)$$

– для O₂:

$$R(ijO_2) = -h(1)*LCB1*B1C - h(6)*LNF1*F1N - h(7)*LNF2*F2N -$$

$$- h(8)*LNF3*F3N - h(9)*LNZ1*Z1N - h(10)*LNZ2*Z2N +$$

$$+ g(22)*vo22*F1N + g(23)*vo22*F2N + g(24)*vo23*F3N +$$

$$+ g(25)*vo24*MKN - h(2)*KO(36)*NH_4 - h(3)*KO(37)*NO_2, \quad (244)$$

где скорости фотосинтетической продукции O₂ фитопланктоном первой, второй и третьей групп (соответственно F1N, F2N и F3N), а также макрофитами MKN представлены соответственно уравнениями:

– для F1N: vo21 = (g(26)*g(27)*UPF11)/(1 + g(28)*UPF11), (245)

– для F2N: vo22 = (g(29)*g(30)*UPF21)/(1 + g(31)*UPF21), (246)

– для F3N: vo23 = (g(32)*g(33)*UPF31)/(1 + g(34)*UPF31), (247)

– для MKN: vo24 = (g(35)*g(36)*UPMK1)/(1 + g(37)*UPMK1). (248)

Изменения концентраций биогенных веществ в донных отложениях представлены в модели следующими уравнениями:

– для CORGs:

$$\begin{aligned} R(ijCORGs) &= -ko(32)*(CORGs - CORG)*KSEDI + h(19)*ko(19)*NDs \\ \text{if}(O_2\text{sed.gt.}0.2) \\ R(ijCORGs) &= R(ijCORGs) - ko(35)*CORGs*O_2\text{sed} \\ \text{if}(O_2\text{sed.le.}0.2) \\ R(ijCORGs) &= R(ijCORGs) - h(24)*ko(35)*CORGs*NO_3s \\ R(ijCORGs) &= R(ijCORGs)*KSEDI \\ CORGs &= CORGs*KSEDI, \end{aligned} \quad (249)$$

– для NDs:

$$\begin{aligned} R(ijNDs) &= KSEDI*(ko(18)/dpth)*ND - \\ &\quad - KSEDI*NDs*(ko(17)/dpth**2.0)*wind**h(18) - ko(19)*NDs \\ R(ijNDs) &= R(ijNDs)*KSEDI \\ NDs &= NDs*KSEDI, \end{aligned} \quad (250)$$

– для NH₄s:

$$\begin{aligned} \text{if}(O_2\text{sed.ge.}0.2) \\ R(ijNH_4s) &= ko(19)*NDs - KSEDI*ko(20)*(NH_4s - NH_4) - \\ &\quad - UPMKNH_4s*MKN - ko(22)*NH_4s*O_2\text{sed} \end{aligned} \quad (251)$$

$$\begin{aligned} \text{if}(O_2\text{sed.lt.}0.2) \\ R(ijNH_4s) &= ko(19)*NDs - KSEDI*ko(20)*(NH_4s - NH_4) - \\ &\quad - UPMKNH_4s*MKN - h(21)*ko(22)*NH_4s*NO_3s \\ R(ijNH_4s) &= R(ijNH_4s)*KSEDI \\ NH_4s &= NH_4s*KSEDI, \end{aligned} \quad (252)$$

– для NO₃s:

$$\begin{aligned} \text{if}(O_2\text{sed.ge.}0.2) \\ R(ijNO_3s) &= -KSEDI*ko(23)*(NO_3s - NO_3) - UPMKNO_3s*MKN - \\ &\quad - ko(21)*NO_3s + ko(22)*NH_4s*O_2\text{sed} \\ \text{if}(O_2\text{sed.lt.}0.2) \\ R(ijNO_3s) &= -KSEDI*ko(23)*(NO_3s - NO_3) - UPMKNO_3s*MKN - \\ &\quad - ko(21)*NO_3s - h(21)*(ko(22)*NH_4s*NO_3s) - \\ &\quad - h(24)*ko(35)*CORGs*NO_3s \\ R(ijNO_3s) &= R(ijNO_3s)*KSEDI \\ NO_3a &= NO_3s*KSEDI, \end{aligned} \quad (253)$$

– для PDs:

$$\begin{aligned} R(ijPDs) &= KSEDI*(ko(29)/dpth)*PD - \\ &\quad - KSEDI*PDs*(ko(28)/dpth**2.0)*wind**h(17) - ko(27)*yuy \\ R(ijPDs) &= R(ijPDs)*KSEDI \\ PDs &= PDs*KSEDI, \end{aligned} \quad (254)$$

– для DIPs:

$$\begin{aligned} R(ijDIPs) &= -KSEDI*ko(26)*(DIPs - DIP) + ko(27)*PDs - UPMKDIPs*MKP \\ R(ijDIPs) &= R(ijDIPs)*KSEDI \\ DIPs &= DIPs*KSEDI, \end{aligned} \quad (255)$$

– для O₂sed:

$$\text{if}(O_2\text{sed.ge.}0.2)$$

$$\begin{aligned} R(ijO_2\text{sed}) &= -KSEDI*ko(30)*(O_2\text{sed} - O_2) - ko(31)*O_2\text{sed} - ko(22)*NH_4s*O_2\text{sed} - \\ &\quad - h(24)*ko(35)*CORGs*O_2\text{sed} \\ \text{if}(O_2\text{sed.lt.}0.2) \\ R(ijO_2\text{sed}) &= -KSEDI*ko(30)*(O_2\text{sed} - O_2) - ko(31)*O_2\text{sed} \\ R(ijO_2\text{sed}) &= R(ijO_2\text{sed})*KSEDI \\ O_2\text{sed} &= O_2\text{sed}*KSEDI, \end{aligned} \quad (256)$$

– для N₂s:

$$\begin{aligned} R(ijN_2s) &= -KSEDI*ko(24)*(N_2s - N_2) \\ \text{if}(O_2\text{sed.lt.}0.2) \\ R(ijN_2s) &= R(ijN_2s) + ko(21)*NO_3s \\ R(ijN_2s) &= R(ijN_2s)*KSEDI \\ N_2s &= N_2s*KSEDI, \end{aligned} \quad (257)$$

– для SiDs:

$$\begin{aligned} R(ijSiDs) &= KSEDI*(ko(41)/dpth)*SiD - ko(43)*SiDs - \\ &\quad - KSEDI*yuy*(ko(42)/dpth**2.0)*wind**h(26) \\ R(ijSiDs) &= R(ijSiDs)*KSEDI \\ SiDs &= SiDs*KSEDI, \end{aligned} \quad (258)$$

– для SiO₄s:

$$\begin{aligned} R(ijSiO_4s) &= -KSEDI*ko(44)*(SiO_4s - SiO_4) + KO(43)*SiDs - \\ &\quad - G(64)*UPMKDIPs*MKP \\ R(ijSiO_4s) &= R(ijSiO_4s)*KSEDI \\ SiO_4s &= SiO_4s*KSEDI. \end{aligned} \quad (259)$$

В уравнениях (229)–(259) h(i) – стехиометрические коэффициенты, g(i) – регулировочные параметры. Коэффициенты модели KO(36), KO(37), KO(38) и KO(40), являющиеся, соответственно, константами скоростей процессов химического окисления NH₄ до NO₂, NO₂ до NO₃, NH₄ до NO₃ и UR до NH₄, корректируются значениями температуры воды и вычисляются по степенной зависимости:

$$KO(i) = K(i)*h(11)**(T - 20.0), \quad (260)$$

где h(11) – температурный коэффициент, K(i) – величины коэффициентов при температуре 20 °C. Параметры KO(15), KO(16) и KO(39) являются, соответственно, константами скоростей разложения ND до DON, PD до DOP и SiD до SiO₄ и вычисляются по значениям температуры водной среды с помощью температурной функции (129). Коэффициенты этой функции оцениваются при отладочных расчетах на модели.

Уравнения для скоростей поступления веществ из внешних источников, LOAD(ijk), представлены в модели в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{– для CORG:} \\ \text{LOAD}(ijCorg) &= fl(20)*(Qpr/V(i))*CORG(r) + CZ(ijCORG), \end{aligned} \quad (261)$$

$$\begin{aligned} \text{– для ND:} \\ \text{LOAD}(ijND) &= fl(22)*(Qpr/V(i))*ND(r) + CZ(ijND), \end{aligned} \quad (262)$$

$$\begin{aligned} \text{– для DON:} \\ \text{LOAD}(ijDON) &= fl(21)*(Qpr/V(i))*DON(r) + CZ(ijDON), \end{aligned} \quad (263)$$

– для UR:
 $LOAD(ijUR) = CZ(ijUR),$ (264)

– для NH₄:
 $LOAD(ijNH_4) = fl(25)*(Qpr/V(i))*NH_4(r) + CZ(ijNH_4),$ (265)

– для NO₂:
 $LOAD(ijNO_2) = fl(26)*(Qpr/V(i))*NO_2(r) + CZ(ijNO_2),$ (266)

– для NO₃:
 $LOAD(ijNO_3) = fl(27)*(Qpr/V(i))*NO_3(r) + CZ(ijNO_3),$ (267)

– для N₂:
 $LOAD(ijN_2) = KATM*KO(33)*(N_{2atm} - N_2)$ (268)

– для PD:
 $LOAD(ijPD) = fl(23)*(Qpr/V(i))*PD(r) + CZ(ijPD),$ (269)

– для DOP:
 $LOAD(ijDOP) = fl(24)*(Qpr/V(i))*DOP(r) + CZ(ijDOP),$ (270)

– для DIP:
 $LOAD(ijDIP) = fl(28)*(Qpr/V(i))*DIP(r) + CZ(ijDIP),$ (271)

– для SiD:
 $LOAD(ijSiD) = CZ(ijSiD),$ (272)

– для SiO₄:
 $LOAD(ijSiO_4) = CZ(ijSiO_4),$ (273)

– для NF:
 $LOAD(ijNF) = CZ(ijNF),$ (274)

– для FNL:
 $LOAD(ijFNL) = CZ(ijFNL),$ (275)

– для O₂:
 $LOAD(ijO_2) = -KO(14)*(O_2 - O_{2s})*KATM.$ (276)

В уравнениях (261)–(276) Corg(r), ND(r), DON(r), NH₄(r), NO₂(r), NO₃(r), PD(r), DOP(r), DIP(r) – концентрации соответствующих органических веществ в атмосферной влаге (все мг Элемента/л) (на данном этапе исследований влияние атмосферных осадков как источника органических субстанций не учитывалось и концентрации указанных компонентов принимались равными нулю); Qpr – выпавшие атмосферные осадки, км³/мес.; V(i) – объемы рассматриваемых акваторий, км³; CZ – суммарные скорости поступлений органических веществ из рассредоточенных источников, мг Элемента/(л сут); KATM – коэффициент для включения (или исключения) процессов газообмена через поверхность вода–воздух (KATM = 1 или 0 соответственно для верхнего или нижнего слоев); KO(14), KO(33) – коэффициенты аэрации водной среды кислородом и азотом, которые скорректированы на условия по температуре с помощью степенной функции (260); O_{2s} и N_{2atm} – соответственно содержание O₂ (при насыщении) и N₂ (мг/л) в приводном слое атмосферы.

Концентрация O_{2s} рассчитывается по эмпирической зависимости от температуры [Wang, Wang, 1976]:

$$O_{2s} = 14.61996 - 0.4042 T + 0.00842 (T^2) - 0.00009 (T^3). \quad (277)$$

Содержание N_{2atm} вычисляется также по эмпирической зависимости от температуры [Fair G.M. et al., 1968]:

$$N_{2atm} = 22.33 \exp(-0.0207 T). \quad (278)$$

При расчете скорости изменения концентраций органических веществ за счет пространственного (горизонтального и вертикального) переноса, TR(ijk), учитывается поступление указанных веществ в рассматриваемые акватории моря извне с водами притоков (TRIN), за счет вертикального обмена с нижележащим слоем (TRUP), переноса из соседних акваторий в пределах морской экосистемы (TRSEC) и потери веществ при выносе водным потоком через внешние границы морской экосистемы (TROUT):

$$TR(ijk) = fl(k)[TRIN(ijk) + TRUP(ijk) + TRSEC(ijk) + TROUT(ijk)]. \quad (279)$$

Расчет указанных составляющих переноса производится в модели по следующим уравнениям:

$$TRIN(k) = QWIN(i, j)*CIN(k, i)/V(i, j), \quad (280)$$

$$TRUP(k) = abs(QWUP(i))*CM(k, i, 3-j) - Y(k)/V(i, j), \quad (281)$$

$$TRSEC(k, i) = (QW(i, j)*CM(k, j) - QW(i, j)*Y(k))/V(i, j), \quad (282)$$

$$TROUT(k) = -QWOUT(i, j)*Y(k)/V(i, j), \quad (283)$$

здесь, как и в уравнении (1), i, j, k – счетчики модели для выделенных акваторий, рассматриваемых слоев Охотского моря и компонентов модели, соответственно; QWIN(i, j) – расходы воды внешних притоков в соответствующих акваториях моря, км³/мес.; QWOUT(i, j) – расходы воды на внешних границах моря для расчетов выноса веществ из экосистемы моря, км³/мес.; QWUP(i) – составляющая вертикального переноса веществ, км³/мес.; QW(i, j) – расходы воды на границах между отдельными акваториями моря, км³/мес.; Y(k) – мгновенные концентрации веществ в соответствующих акваториях моря в рассматриваемом слое воды, мг Элемента/л; CM(k, i, 3-j) – мгновенные концентрации веществ в соответствующих акваториях моря в нижнем (или верхнем) слое столба воды, мг Элемента/л, для расчета количеств веществ, участвующих в переносе по вертикали; CIN(k, i) – концентрации рассматриваемых компонентов в водах притоков, мг Элемента/л; V(i, j) – объем вод рассматриваемых акваторий и слоев, куб. км; fl(k) – управляющие параметры переноса вещества (безразмерные).

Таким образом, CNPSi-модель рассчитывает для разных акваторий изучаемой экосистемы водоема:

- внутригодовую динамику концентраций химических и биологических показателей состояния водной среды;
- мгновенные скорости процессов, ответственные за изменение концентраций веществ;
- внутренние и внешние потоки веществ;
- времена оборота всех рассматриваемых в модели химических и биологических компонентов;
- удельные скорости продукции гидробионтов;
- значения продуктивности рассматриваемого в модели сообщества водных микроорганизмов, осуществляющих биотрансформацию ОБ и БВ.

На основе полученной при реализации CNPSi-модели информации представляется возможным рассчитать балансы соединений биогенных элементов в разных акваториях изучаемой водной экосистемы.

Вопросы для закрепления материала

1. На основе объединения каких ранее разработанных экологических моделей создана CNPSi-модель?
2. Биогидрохимические циклы каких биогенных элементов, как правило, изучаются в экологических моделях?
3. Какие формы N, присутствующие в водной среде, включены в CNPSi-модель?
4. Какие из соединений биогенных элементов, присутствующие в поверхностном слое донных отложений, включены в CNPSi-модель?
5. Какие формы P, присутствующие в водной среде, включены в CNPSi-модель?
6. Какие формы Si, присутствующие в водной среде, включены в CNPSi-модель?
7. Какие процессы учитываются в CNPSi-модели при описании динамики биомасс микроорганизмов (гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона)?
8. Какие наиболее важные проблемы качества природных вод могут изучаться с помощью CNPSi-модели?
9. Какие показатели состояния водной среды могут быть вычислены с помощью CNPSi-модели?
10. Какое максимальное количество акваторий и слоев может быть исследовано с помощью CNPSi-модели?

ГЛАВА 2

СТРУКТУРНОЕ ОПИСАНИЕ CNPSi-МОДЕЛИ

Моделируемая система описывает взаимодействие отдельных акваторий изучаемого водоема или отдельных связанных между собой водных объектов. Максимальное количество таких акваторий (или водных объектов) может быть задано равным десяти. Модель позволяет отслеживать изменения концентраций кислорода, БВ (органических и минеральных соединений C, N, P, Si) и биомасс микроорганизмов (гетеротрофные бактерии, фито-, зоопланктон, макрофиты) в изучаемых акваториях под влиянием изменения природных и антропогенных факторов.

Модель основывается на методологии системного анализа: в ней учитываются многообразие форм нахождения БВ в водной среде и различные взаимодействия компонентов химической и биологической природы, а также влияние на них физических, химических и биологических процессов, воздействующих на скорости изменения концентраций компонентов в водной среде. CNPSi-модель, по сути, описывает переходные процессы биотрансформации и круговорот соединений органических элементов (C, N, P, Si, O) в водной среде.

Теоретическая основа модели – развиваемая гипотеза о том, что взаимосвязанность основных функций микроорганизмов позволяет им осуществлять биотрансформацию веществ в водной среде. Таковыми функциями служат потребление веществ-субстратов, выделение продуктов обмена веществ, отмирание, а также выедание микроорганизмов низших трофических уровней организмами более высоких трофических уровней. Предполагается, что функции выделения продуктов обмена веществ и отмирания микроорганизмов зависят от функции потребления ими веществ-субстратов, обеспечивающей микроорганизмам рост биомассы и поддержание нормальных условий функционирования как при повышенном, так и при пониженном содержании питательных веществ в водной среде. Функция выедания микроорганизмов регулирует активность микроорганизмов и косвенным образом влияет на скорости круговорота БВ в изучаемой водной среде. CNPSi-модель биотрансформации веществ, по сути, количественно связывает скорости роста водных микроорганизмов с меняющимися во времени концентрациями компонентов – растворенными и взвешенными соединениями биогенных элементов (C, N, P, Si), включаемых в состав биомасс микроорганизмов.

Особенность данной модели – ее биологическая полноценность, так как в ней учитываются взаимодействия и влияния друг на друга химических и физических показателей среды обитания и микроорганизмов. Факторы среды (температура, освещенность, прозрачность, водный режим, биогенная нагрузка) в модели определяют условия развития микроорганизмов, а последние своими прижизненными выделениями и детритообразованием влияют на состав и содержание компонентов, в том числе питательных веществ, водной среды. Взаимосвязанность основных функций микроорганизмов – гибкий механизм регуляции их активности, который определяет адаптацию биологического сообщества к конкретным условиям среды обитания. Включение в модель подобного регуляторного механизма дает возможность использовать модель без существенной корректировки ее структуры и значений параметров для исследу-

дования отличающихся по своим химическим и биологическим свойствам отдельных взаимосвязанных акваторий (или разных водных объектов).

Перспективность подобного подхода в изучении условий функционирования экосистем водоемов была показана на примере фосфорного блока модели – при исследовании проблем евтрофирования озер и водохранилищ [Леонов, 1986, 1987; Varis et. al., 1986; Леонов и др., 1987, 1996; Леонов, Ниemi, 1989, 1991; Леонов, 1989; Фаст и др., 1996; Булдовская, Леонов, 1996], а также при использовании данной модели для изучения состояния водных ресурсов Рыбинского водохранилища [Леонов и др., 1996] и условий функционирования морских экосистем – Охотского моря [Леонов, Сапожников, 1997] и его отдельных акваторий – прол. Лаперуза и зал. Анива [Пищальник, Леонов, 2003; Леонов, Пищальник, 2005], Каспийского [Леонов, Стыгар, 1999, 2001; Леонов, Сапожников, 2000] и Белого [Леонов и др., 2004] морей.

Опыт обобщения полученной с помощью моделей экологической информации для указанных водоемов свидетельствует о широких потенциальных возможностях в направлениях практического применения методов системных исследований. Значительно повышается информативность имеющихся данных в выявлении важнейших показателей функционирования водных экосистем в природных условиях и при выраженном антропогенном воздействии, когда существенно меняется биогенная нагрузка. Моделирование в этом случае может использоваться в связи с экспертными оценками, прогнозированием и формулированием усовершенствованных стратегий использования водных ресурсов, исходя из существующих критериев их качества по предельно допустимым концентрациям (ПДК) растворенных и взвешенных веществ и для поддержания качества природных вод на требуемом для водоохраны уровне.

На основе данной модели представляется возможным по результатам моделирования биотрансформации соединений органогенных элементов корректно оценивать тенденции изменения состояния водной среды, поскольку эта модель воспроизводит не только мгновенные изменения концентраций веществ, но и их круговорот по внутренним каналам трансформации веществ, что, по сути, является реакцией водных экосистем на поступление веществ из внешних источников (внешняя биогенная нагрузка). Фактическая (или реальная) биогенная нагрузка на водную экосистему формируется за счет взаимодействия внешних источников и внутренней циркуляции (круговорота) веществ в самой экосистеме водоема.

2.1. Общая характеристика программы CNPSi-модели

Программа для компьютера для CNPSi-модели была составлена В. М. Николаевым (ИНБИОМ, Севастополь). CNPSi-модель записана в форме обыкновенных дифференциальных уравнений. На основе учитываемых взаимодействий между химическими и биологическими концентрациями веществ водной среды, а также физическими параметрами ее состояния модель рассчитывает мгновенные скорости процессов, влияющих на изменение концентраций веществ, а также итоговые концентрации компонентов в каждый момент времени в течение года с учетом изменения основных факторов среды (водный режим, температура, освещенность, прозрачность воды, фотопериод, биогенная нагрузка).

Программа модели построена на основе обобщения отдельных модельных разработок, в которых изучались процессы, связанные с биотрансформацией и переносом веществ в водных экосистемах.

В целом CNPSi-модель содержит пакет отдельных подпрограмм и функций для расчета концентрацией веществ, скоростей их изменения, времени оборота биогенных субстанций и биомасс, внутренних и внешних потоков веществ, их балансов (для O_2 , органических и минеральных компонентов N, P, C и Si, а также биомасс микроорганизмов [гетеротрофных бактерий, трех групп фитопланктона, двух групп зоопланктона, макрофитов]).

В основе процессов биотрансформации веществ – способность соответствующих микроорганизмов потреблять отдельные субстраты и образовывать свою биомассу, выделять в окружающую среду продукты обмена веществ и формировать детрит. В целом модель воспроизводит переходные процессы в состоянии водной экосистемы и ее реакцию на изменения природных характеристик среды обитания (водный режим, температура, освещенность, прозрачность, фотопериод) или антропогенное воздействие (дополнительное изменение показателей водного режима, биогенная нагрузка). Переходные процессы рассматриваются одновременно для каждой акватории водной экосистемы и, соответственно, рассчитываются для всех акваторий для каждого момента времени меняющиеся концентрации показателей в соответствии с изменяющимися океанологическими (физическими) условиями состояния водной среды.

Реализующий данную модель программный комплекс состоит из двух частей. Первая часть представляет собой непосредственно модель, описывающую принятые алгоритмы для описания функционирования водной экосистемы, на входе которой задаются изменения в течение года основных параметров состояния водной среды, а на выходе – значения расчетных концентраций химических и биологических переменных, времена их оборота, удельная продукция микроорганизмов, внутренние и внешние потоки веществ, суммарные значения балансов соединений биогенных элементов.

Вторая часть комплекса позволяет отображать полученную по результатам расчетов на модели информацию в виде графиков, таблиц, диаграмм на экране монитора или на принтере.

Уравнения модели записаны на языке RM-FORTRAN и включают две основных программы – BALPHOS (для ввода данных) и BAL (для вычисления параметров), и набор подпрограмм и функций (для выполнения всех промежуточных операций и вычисления вспомогательных характеристик). Отметим, что CNPSi-модель – это усовершенствованная версия имитационной модели фосфорной системы [Леонов, 1986], дополненная описанием процессов трансформации соединений C, N и Si, а также унифицированной программой водообмена/переноса веществ в экосистеме водоема, который может по желанию пользователя подразделен на несколько регионов (от одного до десяти). В CNPSi-модели сохранены структура, аббревиатура, перечень и взаимосвязь всех включенных подпрограмм и функций, которые ранее были задействованы в имитационной модели фосфорной системы.

2.2. Функциональное предназначение подпрограмм и алгоритмов CNPSi-модели

В этом разделе приводится описание и формулирование алгоритмов, отдельных функций и подпрограмм модели, используемых в расчетах вспомогательных параметров, а также для преобразования информации, полученной при реализации модели, и построения специальных файлов расчетных данных для

последующей обработки результатов моделирования. Схематично взаимосвязи основных программ, а также включаемых в CNPSi-модель подпрограмм и функций показаны на рис. 2.1.

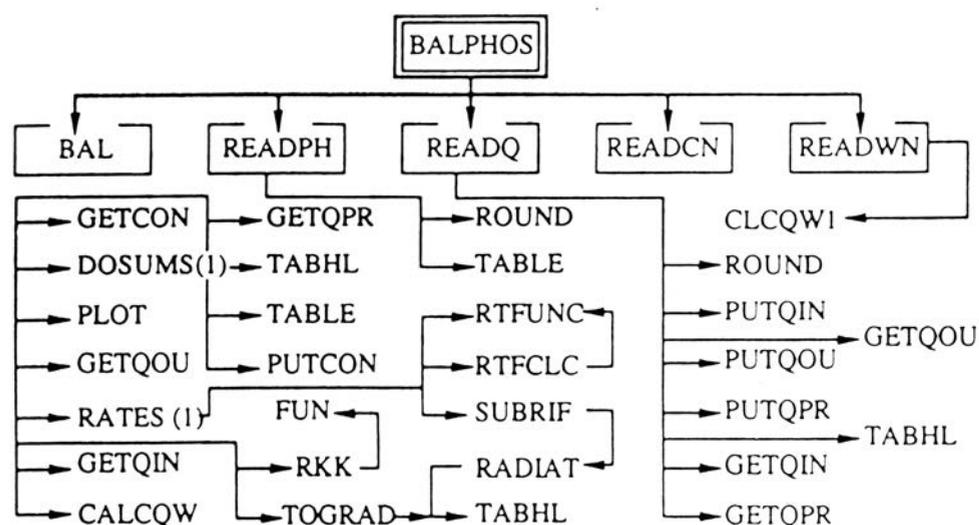


Рис. 2.1. Взаимосвязь подпрограмм и функций в CNPSi-модели

В начале основной программы BALPHOS (обеспечивает ввод данных и организацию расчетных циклов по акваториям для всего временного периода) приводится структурное содержание данной модели с указанием наименований используемых файлов информации, режимов работы с этими файлами (r – режим чтения, w – режим записи информации), приведенного перечня подпрограмм, задействованных при работе с этими файлами:

c	unit files	r/w	type	subroutines	
c 1	Q(1-10)	r	seq	readq	101-110
c 2	---	---	---	---	
c 3	PLOT(1-10)	w	seq	main,bal	31-40
c 4	---	---	---	---	301
c 5	WIND(1-10)	r	seq	readwn	51-60
c 6	OUT	w	seq	main,bal,readph,readq,readwn	
c 7	---	---	---	---	
c 8	TIMES	r	seq	main,bal	
c -	-----	---	---	---	
c 10	CONSTANTS	r	seq	readcon	
c 11	---	---	---	---	
c 12	FLows	r	seq	bal	
c 13	CONC(1-10)	r	seq	main	131-140
c 14	PHYS(1-10)	r	seq	readph	141-150
c 15	---	-	---	-----	

Общее описание всех используемых в модели переменных и параметров содержится в файлах COMMON, COMM2, COMVEC и COMNOW, текст которых приведен, соответственно, в Приложениях 2.1 – 2.4¹.

Текст основной программы BALPHOS приведен в Приложении 2.5 [Леонов, 2008].

В основной программе BALPHOS производится вызов следующих процедур и подпрограмм, которые систематизируют входную информацию и алгоритмы для проведения расчетов. Вот перечень этих подпрограмм:

1. Процедура READCN – производит считывание значений констант из входного файла CONSTANTS. Текст процедуры READCN приведен в Приложении 2.6.

2. Процедура READ_CM – выполняет считывание информации из файла (C_MONTH) по заданным исходным концентрациям веществ в акваториях 1–10 изучаемого водоема, а также по среднемесячным значениям концентраций веществ в притоках, впадающих в акватории 1–10. Текст процедуры приведен в Приложении 2.7.

3. Процедура READPH – производит считывание информации из входных файлов для каждого участка (PHYS1...10) по физическим характеристикам (температура, освещенность, фотопериод и др.) для всех заданных моментов времени (от 0 до 365 сут), интерполяцию данных и их осреднение (с шагом сутки, неделя, месяц, сезон – задается по желанию пользователя). Текст процедуры READPH приведен в Приложении 2.8.

4. Процедура ROUND – выполняет осреднение значений входных параметров (с возможным шагом осреднения сутки, неделя, месяц, сезон). Текст процедуры приведен в Приложении 2.9.

5. Процедура READQ – производит считывание данных по водному режиму (из файла Q1...10) для каждого участка изучаемого водоема (расходы воды на входе и выходе из участка, поступление атмосферной влаги) для всех заданных моментов времени, интерполяцию данных для получения информации в сроки, когда наблюдения не проводились. В последней версии модели эта процедура производит считывание информации, характеризующей только поступление атмосферной влаги. Текст процедуры READQ приведен в Приложении 2.10.

6. Процедура PUTQIN – выполняет запоминание значений расходов воды для водных потоков на входе в изучаемую акваторию в заданные моменты времени. Текст процедуры приведен в Приложении 2.11.

7. Процедура PUTQOU – выполняет запоминание значений расходов воды для потоков на выходе из изучаемой акватории в заданные моменты времени. Текст процедуры приведен в Приложении 2.12.

8. Процедура PUTQPR – выполняет запоминание значений поступления влаги с атмосферными осадками в изучаемую акваторию водоема в заданные моменты времени. Текст процедуры приведен в Приложении 2.13.

9. Процедура READWN – производит считывание из входных файлов (WIND1...10) для каждого участка водоема данных по скорости и направлению ветра в заданные моменты времени, вычисляет расходы воды потока, переносимого из одного участка в другой под воздействием ветра через гра-

¹ Здесь и далее см. приложения 2.1–2.40: Леонов, А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2008. – 168 с.

ницы выделенных участков водоема. Текст процедуры READWN приведен в Приложении 2.14.

10. Процедура CLCQW1 – выполняет осреднение данных по ветровому переносу (за сутки, неделю, месяц или сезон, шаг осреднения задается по желанию пользователя). Текст процедуры CLCQW1 приведен в Приложении 2.15.

11. Процедура MONGE – производит считывание информации из файла входных данных DEPI_V, в котором приводятся данные по средней глубине положения термоклина и объемам воды в разные месяцы в акваториях 1–10 изучаемого водоема. Текст процедуры MONGE приведен в Приложении 2.16.

12. Процедура READ_W – выполняет считывание информации из файла WAT по заданным значениям переносов водных масс течениями через границы выделенных акваторий 1–10. Текст процедуры приведен в Приложении 2.17.

В основной программе BAL (предназначена для вычисления концентраций переменных модели в заданный момент времени в конкретной акватории водоема) формируются данные для вывода полученной расчетной информации (выходной файл). Вызов программы BAL выполняется в основной программе BALPHOS. Текст программы BAL приведен в Приложении 2.18.

В программе BAL осуществляется вызов следующих подпрограмм:

1. Процедура GETCON – производит считывание концентраций веществ, которые запоминаются в подпрограмме PUTCON. Текст процедуры приведен в Приложении 2.19.

2. Процедуры RATES и RATES1 – производят вычисления промежуточных значений скоростей биотрансформации веществ. Текст процедуры RATES приведен в Приложении 2.20, а процедуры RATES1 – в Приложении 2.21.

3. Процедура PLOT – выполняет подготовку выходных файлов, содержащих значения концентраций переменных и времена их оборота для промежуточных значений времени. Файл строится в процессе выполнения расчетов с целью дальнейшего их отображения и анализа. Текст процедуры PLOT приведен в Приложении 2.22.

4. Процедура CALCQW – выполняет расчеты значений переноса, осуществляемого за счет ветрового воздействия. Текст процедуры CALCQW приведен в Приложении 2.23.

5. Процедуры DOSUMS, DOSUMS1 и DOSUMS1a – служат для вычисления внутренних и внешних потоков трансформации веществ в изучаемой водной экосистеме. Текст подпрограмм DOSUMS, DOSUMS1 и DOSUMS1a приведен в Приложениях 2.24, 2.25 и 2.26 соответственно.

6. Процедура PUTCON – производит запоминание значений концентраций переменных модели для рассматриваемого участка водоема в заданный момент времени при переходе к расчетам этих показателей для следующего участка. Текст процедуры приведен в Приложении 2.27.

7. Процедура TRAS – используется для расчета значений горизонтального и вертикального переносов веществ по значениям расходов воды, задаваемых в файле входных данных WAT.txt. Текст процедуры TRAS приведен в Приложении 2.28.

В программе BAL производится также вызов следующих рабочих функций:

1. Функции RTFUNC и RTFCLC – применяются для вычисления коэффициентов RT – температурной коррекции констант скоростей. Тексты функций RTFUNC и RTFCLC приведены в Приложениях 2.29 и 2.30.

2. Функция SUBRIF – используется для вычисления значений коэффициентов RI, ограничивающих скорости потребления веществ по значениям

освещенности водной среды. Текст функции SUBRIF приведен в Приложении 2.31.

3. Функция TABNL – используется для интерполяции значений параметров модели, выбираемых из таблиц входных данных. Текст функции TABNL приведен в Приложении 2.32.

4. Функция TABLE – используется для выбора помесечных значений величин переменных из таблиц входных данных. Текст функции TABLE приведен в Приложении 2.33.

5. Функция TOGRAD – применяется для вычисления интерполируемых значений температуры воды в заданный момент времени (при считывании значений температуры из таблицы) или расчета значений температуры воды для конкретного момента времени по заданному уравнению. Текст функции TOGRAD приведен в Приложении 2.34.

6. Функция GETQIN – используется для считывания значений расходов воды на входе в рассматриваемый участок водоема в заданные моменты времени. Текст функции GETQIN приведен в Приложении 2.35.

7. Функция GETQOU – используется для считывания значений расходов воды на выходе из рассматриваемого участка в заданные моменты времени. Текст функции GETQOU приведен в Приложении 2.36.

8. Функция GETQPR – используется для считывания значений поступления влаги с атмосферными осадками в заданные моменты времени для рассматриваемого участка водоема. Текст функции GETQPR приведен в Приложении 2.37.

9. Функция RADIAT – используется для считывания значений среднесуточной освещенности поверхностного слоя воды из файла входных данных и расчета внутрисуточного значения освещенности в соответствующий момент времени. Текст функции RADIAT приведен в Приложении 2.38.

10. Функция FUN – используется для выполнения расчетов правых частей дифференциальных уравнений, описывающих динамику концентраций переменных модели. Текст функции FUN приведен в Приложении 2.39.

11. Функция RKK – представляет используемый алгоритм решения обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге–Кутты 4 с постоянным шагом по времени. Текст функции RKK приведен в Приложении 2.40.

По желанию пользователя каждая из приведенных в CNPSi-модели функций и подпрограмм может в процессе эксплуатации модели корректироваться и уточняться в зависимости от имеющейся информации и задач исследований, изучаемых с помощью данной модели.

Вопросы для закрепления материала

1. Какая методология составляет основу CNPSi-модели?
2. Взаимосвязанность каких основных функций микроорганизмов воспроизводит в CNPSi-модели развитие процессов биотрансформации веществ в водной среде?
3. В чем основная суть описываемых CNPSi-моделью процессов биотрансформации веществ?
4. Какие основные факторы среды включены в модель и какое они оказывают воздействие на развитие микроорганизмов в водной среде?
5. В чем состоит влияние микроорганизмов на водную экосистему?

6. Как в модели формализован механизм регуляции активности микроорганизмов и в чем состоит его суть?

7. Из чего складывается фактическая биогенная нагрузка на водную экосистему?

8. В чем основная суть круговорота вещества, который воспроизводится CNPSi-моделью?

9. В чем суть переходных процессов в состоянии водной экосистемы, которые воспроизводит CNPSi-модель?

10. Из каких двух частей состоит программный комплекс, позволяющий пользователю работать с CNPSi-моделью?

ГЛАВА 3

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ НА МОДЕЛИ

Входные данные, требуемые для выполнения расчетов на модели, включены в директорию \DATA. Все файлы текстовые и имеют расширение .txt. Весь набор требуемой информации подразделен на блоки, которые организованы по своей смысловой сути. Информация в этих блоках может относиться либо к конкретной акватории изучаемого водного объекта (тогда около соответствующего блока ставится номер этой акватории), либо быть общей для всех акваторий (тогда номера около файла нет).

В этом разделе даны пояснения по структуре блоков входной информации, а также по смысловой принадлежности включаемых в эти информационные блоки входных параметров. Здесь структура входных файлов модели поясняется на основе количественной информации, по которой выполнялись расчеты на модели для зал. Анива Охотского моря [Леонов, Пищальник, 2005].

3.1. Файл TIMES

Файл TIMES описывает заданный режим работы программы (начальное и конечное время, шаг по времени, дискретность вывода расчетных данных на печать и занесения их в файл для графирования). Файл TIMES включает следующие параметры:

```
1. tnow = 000.0  tinit = 000.0  tfin   = 365.0  dt   = 0.050  plot  = 48.0
2. sect   = 5.0
3. prnt1 = 910.00 prnt2 = 910.0  prnt3   = 910.0  prnt4 = 910.00 prnt5 = 910.0
   prnt6 = 910.0  prnt7 = 910.0  prnt8   = 910.0  prnt9 = 910.00 prn10 = 910.0
4. nsplt  = 1.0  optio = 2.0
5. TEMP  = 1.0  RAD   = 1.0  LOADP = 1.0
6. kqwnd = 0.0  k.var  = 1.0  k.up   = 0.0  k.pl  = 0.0  k.dif  = 0.0
   k.s    = 0.0  k.sum  = 0.0  k.r   = 0.0  k.vec  = 0.0  k.prd  = 0.0
   k.l    = 0.0  k.int  = 0.0  k.tcz  = 0.0  k.rar  = 0.0  k.oth  = 1.0
   K.TR   = 0.0
7. rsum  = 1.0  slout = 1.0
```

Пояснения по включенным в файл TIMES характеристикам:

Метка 1: tnow, tinit – время начала расчетов (если расчет начинается с начала года, оба параметра равны 0.000, если с другого момента, например с 60 суток от начала года, то значениям tnow и tinit присваиваются значения 60.000;

tfin – время окончания расчетов (для годового периода ставится число дней в году 365.0);

dt – шаг по времени, с которым решаются дифференциальные уравнения (обычно 0.05 или 0.1 сут);

plot – счетчик записи расчетной информации (или число итераций выполненных расчетов перед занесением расчетных данных в файл) для ее последующего графирования. Чтобы знать, как часто в процессе расчетов модель

производит запись расчетной информации, надо (dt) x (plot), в данном случае 0.05 сут x 48 = 2.4 сут. Каждые 2.4 сут при работе модели производится заполнение информации и ее занесение в файл для последующего обобщения полученных данных моделирования.

Метка 2: sect – число участков водоема, для которых проводится расчет (максимально возможное число участков – 10).

Метка 3: prnt1 ... prnt10 – возможность контрольной выдачи на печать для просмотра результатов расчетов для 10 участков водоема с заданной для каждого участка дискретностью. Например, для участка 1 дискретность записи расчетной информации в файл для просмотра составляет (dt) x (prnt1) = 0.05 x 910 = 45.5 сут.

Метки 4 и 5: nsplt, optio, TEMP, RAD, LOADP – параметры преобразования входных данных для проведения тестовых расчетов.

Метка 6:

kqwnd = 0.0 k.var = 1.0 k.up = 0.0 k.pl = 0.0 k.dif = 0.0
k.s = 0.0 k.sum = 0.0 k.r = 0.0 k.vec = 0.0 k.prd = 0.0
k.l = 0.0 k.int = 0.0 k.tcz = 0.0 k.rar = 0.0 k.oth = 1.0
K.TR = 0.0

– предусматривает получение промежуточной информации по выполняемым для заданного периода расчетам по конкретным параметрам (когда ставится 0.0 – информация в выходной файл не заносится и не запоминается, если вводится 1.0 – запись идет для тех моментов времени, которые заданы в строке 3).

Метка 7: rsum и slout – при значениях параметров 1 производится запись расчетной информации (соответственно по потокам и концентрациям веществ) для верхнего слоя, при 2 – для нижнего слоя.

3.2. Файл CONSTANTS

Файл CONSTANTS включает используемые для расчетов значения коэффициентов модели. Файл CONSTANTS включает следующие параметры:

1. area1 = 0.0 area2 = 000.0 area3 = 12500.0 area4 = 7500.0 area5 = 400.0
area6 = 100.0 area7 = 300.0 area8 = 2500.0 area9 = 5500.0 area10 = 700.0
angl1 = 0.0 angl2 = 000.0 angl3 = 00000.0 angl4 = 0000.0 angl5 = 000.0
angl6 = 0.0 angl7 = 000.0 angl8 = 00000.0 angl9 = 0000.0 angl10 = 000.0
2. k(1) = 1.9 k(2) = 2.5 k(3) = 1.5 k(4) = 1.0 k(5) = 0.5
k(6) = 3.5 k(7) = 3.2 k(8) = 3.0 k(9) = 2.1 k(10) = 1.9
k(11) = 2.3 k(12) = 0.01 k(13) = 0.01 k(14) = 0.4 k(15) = 0.7
k(16) = 0.2 k(17) = 1.0 k(18) = 0.8 k(19) = 0.05 k(20) = 0.01
k(21) = 0.25 k(22) = 0.35 k(23) = 0.015 k(24) = 0.02 k(25) = 0.25
k(26) = 0.01 k(27) = 0.125 k(28) = 1.0 k(29) = 0.8 k(30) = 0.00
k(31) = 0.01 k(32) = 0.01 k(33) = 1.25 k(34) = 0.25 k(35) = 0.002
k(36) = 0.25 k(37) = 0.35 k(38) = 0.0 k(39) = 0.4 k(40) = 0.02
k(41) = 0.9 k(42) = 1.0 k(43) = 0.125 k(44) = 0.02 k(45) = 0.0
3. d(1) = 1.0 d(2) = 0.5 d(3) = 0.5 d(4) = 0.4 d(5) = 0.00
d(6) = 0.6 d(7) = 1.0 d(8) = 1.0 d(9) = 0.98 d(10) = 0.02
d(11) = 1.0 d(12) = 0.225 d(13) = 0.075 d(14) = 0.7 d(15) = 0.0
d(16) = 0.3 d(17) = 0.7 d(18) = 0.3 d(19) = 0.2 d(20) = 0.3
d(21) = 0.0 d(22) = 0.4 d(23) = 0.6 d(24) = 0.3 d(25) = 0.2
d(26) = 0.3 d(27) = 0.00 d(28) = 0.4 d(29) = 0.6 d(30) = 0.48
d(31) = 0.0 d(32) = 0.00 d(33) = 0.00 d(34) = 0.00 d(35) = 0.34
d(36) = 0.05 d(37) = 0.02 d(38) = 0.78 d(39) = 0.0 d(40) = 0.00
d(41) = 0.15 d(42) = 0.025 d(43) = 0.025 d(44) = 0.5 d(45) = 0.0

- | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| d(46) = 0.0 | d(47) = 0.0 | d(48) = 0.0 | d(49) = 0.04 | d(50) = 0.00 |
| d(51) = 0.0 | d(52) = 0.1 | d(53) = 0.75 | d(54) = 0.00 | d(55) = 0.0 |
| d(56) = 0.05 | d(57) = 0.05 | d(58) = 0.2 | d(59) = 0.1 | d(60) = 0.1 |
| d(61) = 0.3 | d(62) = 0.7 | d(63) = 0.15 | d(64) = 0.02 | d(65) = 0.02 |
| d(66) = 0.02 | d(67) = 0.02 | d(68) = 0.22 | d(69) = 0.02 | d(70) = 0.02 |
| d(71) = 0.02 | d(72) = 0.1 | d(73) = 0.1 | d(74) = 0.1 | d(75) = 0.1 |
| d(76) = 0.14 | d(77) = 0.1 | d(78) = 0.02 | d(79) = 0.02 | d(80) = 0.24 |
| d(81) = 0.02 | d(82) = 0.1 | d(83) = 0.1 | d(84) = 0.1 | d(85) = 0.1 |
| d(86) = 0.02 | d(87) = 0.1 | d(88) = 0.02 | d(89) = 0.02 | d(90) = 0.02 |
| d(91) = 0.02 | d(92) = 0.11 | d(93) = 0.02 | d(94) = 0.02 | d(95) = 0.02 |
| d(96) = 0.05 | d(97) = 0.05 | d(98) = 0.05 | d(99) = 0.05 | d.100 = 0.05 |
| d.101 = 0.5 | d.102 = 0.02 | d.103 = 0.02 | d.104 = 0.16 | d.105 = 0.02 |
| d.106 = 0.05 | d.107 = 0.05 | d.108 = 0.05 | d.109 = 0.05 | d.110 = 0.05 |
| d.111 = 0.53 | d.112 = 0.02 | d.113 = 0.02 | d.114 = 0.02 | d.115 = 0.02 |
| d.116 = 0.12 | d.117 = 0.02 | d.118 = 0.02 | d.119 = 0.02 | d.120 = 0.2 |
| d.121 = 0.2 | d.122 = 0.2 | d.123 = 0.05 | d.124 = 0.05 | d.125 = 0.04 |
| d.126 = 0.02 | d.127 = 0.02 | d.128 = 0.16 | d.129 = 0.02 | d.130 = 0.2 |
| d.131 = 0.2 | d.132 = 0.2 | d.133 = 0.05 | d.134 = 0.05 | d.135 = 0.08 |
| d.136 = 0.02 | d.137 = 0.02 | d.138 = 0.02 | d.139 = 0.02 | d.140 = 0.12 |
| d.141 = 0.02 | d.142 = 0.02 | d.143 = 0.02 | d.144 = 0.05 | d.145 = 0.05 |
| d.146 = 0.05 | d.147 = 0.25 | d.148 = 0.25 | d.149 = 0.09 | d.150 = 0.02 |
| d.151 = 0.02 | d.152 = 0.16 | d.153 = 0.02 | d.154 = 0.05 | d.155 = 0.05 |
| d.156 = 0.05 | d.157 = 0.26 | d.158 = 0.26 | d.159 = 0.11 | d.160 = 0.02 |
| d.161 = 0.02 | d.162 = 0.02 | d.163 = 0.02 | d.164 = 0.06 | d.165 = 0.02 |
| d.166 = 0.02 | d.167 = 0.02 | d.168 = 0.15 | d.169 = 0.15 | d.170 = 0.15 |
| d.171 = 0.15 | d.172 = 0.15 | d.173 = 0.05 | d.174 = 0.02 | d.175 = 0.02 |
| d.176 = 0.1 | d.177 = 0.02 | d.178 = 0.16 | d.179 = 0.16 | d.180 = 0.16 |
| d.181 = 0.16 | d.182 = 0.15 | d.183 = 0.05 | d.184 = 0.20 | d.185 = 0.10 |
| d.186 = 0.15 | d.187 = 0.0 | d.188 = 1.0 | d.189 = 0.15 | d.190 = 0.85 |
| d.191 = 0.0 | d.192 = 0.05 | d.193 = 0.2 | d.194 = 0.2 | d.195 = 0.11 |
| d.196 = 0.31 | d.197 = 0.025 | d.198 = 0.025 | d.199 = 0.02 | d.200 = 0.1 |
| d.201 = 0.025 | d.202 = 0.025 | d.203 = 0.6 | d.204 = 0.30 | d.205 = 0.15 |
| d.206 = 0.01 | d.207 = 0.39 | d.208 = 0.01 | d.209 = 0.02 | |
4. v(1) = 0.045 v(2) = 0.055 v(3) = 0.10 v(4) = 0.05 v(5) = 0.00
v(6) = 0.15 v(7) = 0.05 v(8) = 0.0 v(9) = 0.2 v(10) = 0.0
v(11) = 0.0 v(12) = 0.11 v(13) = 0.08 v(14) = 0.0 v(15) = 0.1
v(16) = 0.0 v(17) = 0.0 v(18) = 0.04 v(19) = 0.35 v(20) = 0.06
v(21) = 0.6 v(22) = 0.0 v(23) = 0.03 v(24) = 0.0 v(25) = 0.07
v(26) = 0.0 v(27) = 0.03 v(28) = 0.0 v(29) = 0.07 v(30) = 0.05
v(31) = 0.4 v(32) = 0.075 v(33) = 0.8 v(34) = 0.04 v(35) = 0.5
v(36) = 0.06 v(37) = 1.0 v(38) = 0.0 v(39) = 0.15 v(40) = 0.0
v(41) = 0.25 v(42) = 0.06 v(43) = 0.08 v(44) = 0.03 v(45) = 0.04
v(46) = 0.03 v(47) = 0.3 v(48) = 0.025 v(49) = 0.2 v(50) = 0.04
v(51) = 0.05
 5. g(1) = 0.0 g(2) = 1.0 g(3) = 1.0 g(4) = 1.0 g(5) = 1.0
g(6) = 0.85 g(7) = 0.75 g(8) = 0.75 g(9) = 0.75 g(10) = 0.3
g(11) = 0.3 g(12) = 0.5 g(13) = 1.0 g(14) = 1.0 g(15) = 1.0
g(16) = 1.0 g(17) = 1.0 g(18) = 1.0 g(19) = 0.8 g(20) = 1.0
g(21) = 0.6 g(22) = 0.0 g(23) = 0.0 g(24) = 0.0 g(25) = 0.0
g(26) = 1.000 g(27) = 48.0 g(28) = 0.3 g(29) = 1.0 g(30) = 48.0
g(31) = 0.300 g(32) = 1.0 g(33) = 48.0 g(34) = 0.3 g(35) = 1.0
g(36) = 48.00 g(37) = 0.3 g(38) = 0.5 g(39) = 0.01 g(40) = 0.10
g(41) = 0.1 g(42) = 0.1 g(43) = 16.00 g(44) = 32.00 g(45) = 1.0
g(46) = 1.0 g(47) = 1.0 g(48) = 1.00 g(49) = 817.00 g(50) = 0.0
g(51) = 0.0 g(52) = 0.05 g(53) = 0.0 g(54) = 0.05 g(55) = 0.05

g(56) = 0.1 g(57) = 0.8 g(58) = 0.1 g(59) = 0.1
 g(60) = 5.0 g(61) = 0.1 g(62) = 0.1 g(63) = 0.0
 g(64) = 0.1 g(65) = 0.0 g(66) = 0.0 g(67) = 1.0
 g(68) = 1.0 g(69) = 0.0
 6. h(1) = 1.0 h(2) = 3.420 h(3) = 1.140 h(4) = 5.35
 h(5) = 5.350 h(6) = 0.3 h(7) = 0.3 h(8) = 0.3
 h(9) = 0.300 h(10) = 0.3 h(11) = 1.05 h(12) = 2100.0
 h(13) = 2100.0 h(14) = 2100.0 h(15) = 0.125 h(16) = 1.0
 h(17) = 1.0 h(18) = 1.0 h(19) = 5.0 h(20) = 0.02
 h(21) = 0.02 h(22) = 0.02 h(23) = 0.02 h(24) = 0.02
 h(25) = 1.05 h(26) = 1.0
 7. a(1) = 0.05 a(2) = 0.12 a(3) = 0.5 a(4) = 0.67
 a(5) = 1.00 a(6) = 1.390 a(7) = 0.500 a(8) = 0.6
 a(9) = 0.5 a(10) = 0.60 a(11) = 0.05 a(12) = 0.14
 a(13) = 0.05 a(14) = 0.07 a(15) = 0.05 a(16) = 0.01
 a(17) = 0.049 a(18) = 0.07 a(19) = 0.049 a(20) = 0.08
 a(21) = 0.049 a(22) = 0.07 a(23) = 0.049 a(24) = 0.08
 a(25) = 0.041 a(26) = 0.05 a(27) = 0.035 a(28) = 0.05
 a(29) = 0.0276 a(30) = 0.0287 a(31) = 0.0276 a(32) = 0.0287
 a(33) = 0.049 a(34) = 0.05 a(35) = 0.049 a(36) = 0.065
 a(37) = 0.05 a(38) = 0.14 a(39) = 0.05 a(40) = 0.065
 a(41) = 0.048 a(42) = 0.052 a(43) = 0.05 a(44) = 0.12
 8. s(1) = 0.0 s(2) = 0.0 s(3) = 0.0 s(4) = 0.0
 s(5) = 0.0 s(6) = 0.0 s(7) = 0.0 s(8) = 1.0
 s(9) = 0.0 s(10) = 0.0 s(11) = 0.0 s(12) = 0.0
 s(13) = 0.0 s(14) = 0.0 s(15) = 0.0
 9. tzo11 = 0.00000 tzo12 = 0.00421 tzo13 = 2.289 tzo14 = 0.00421
 tzo15 = 0.011 tzo16 = 0.338 tzo17 = 0.011
 10. tzo21 = 0.00000 tzo22 = 0.0316 tzo23 = 0.594 tzo24 = 0.0316
 tzo25 = 0.00016 tzo26 = 0.599 tzo27 = 0.00016
 11. tb11 = 0.00000 tb12 = 0.00561 tb13 = 2.848 tb14 = 0.00561
 tb15 = 0.000331 tb16 = 0.668 tb17 = 0.000331
 12. tb21 = 0.0 tb22 = 0.07590 tb23 = 0.247 tb24 = 0.07590
 tb25 = 0.001202 tb26 = 0.23200 tb27 = 0.00001202
 13. tb31 = 0.0 tb32 = 0.07590 tb33 = 0.247 tb34 = 0.07590
 tb35 = 0.001202 tb36 = 0.23200 tb37 = 0.00001202
 14. tb41 = 0.0 tb42 = 0.07590 tb43 = 0.247 tb44 = 0.07590
 tb45 = 0.00339 tb46 = 0.30400 tb47 = 0.0000339
 15. tb51 = 0.0 tb52 = 0.07590 tb53 = 0.247 tb54 = 0.07590
 tb55 = 0.00339 tb56 = 0.30400 tb57 = 0.0000339
 16. tdtm1 = 0.01 tdtm2 = 0.0000101 tdtm3 = 1.036 tdtm4 = 0.0000101
 tdtm5 = 0.0 tdtm6 = 0.00000 tdtm7 = 0.000
 17. tdtp1 = 0.02 tdtp2 = 0.000873 tdtp3 = 0.53 tdtp4 = 0.000873
 tdtp5 = 0.0 tdtp6 = 0.00000 tdtp7 = 0.000
 18. tdSI1 = 0.003 tdSI2 = 0.00257 tdSI3 = 0.196 tdSI4 = 0.00257
 tdSI5 = 0.0 tdSI6 = 0.00000 tdSI7 = 0.000
 19. tf1.1 = 0.0002 tf1.2 = 0.02990 tf1.3 = 3.011 tf1.4 = 0.02990
 tf1.5 = 0.09120 tf1.6 = 0.326 tf1.7 = 0.091200
 20. tf2.1 = 0.00000 tf2.2 = 0.0453 tf2.3 = 1.1310 tf2.4 = 0.0453
 tf2.5 = 0.007260 tf2.6 = 0.534 tf2.7 = 0.007260
 21. tf3.1 = 0.00000 tf3.2 = 0.000646 tf3.3 = 1.267 tf3.4 = 0.000646
 tf3.5 = 0.00946 tf3.6 = 0.554 tf3.7 = 0.000946
 22. tmk.1 = 0.0001 tmk.2 = 0.02990 tmk.3 = 3.011 tmk.4 = 0.02990
 tmk.5 = 0.009120 tmk.6 = 0.326 tmk.7 = 0.091200
 23. fl(1) = 1.0 fl(2) = 1.0 fl(3) = 1.0 fl(4) = 0.0
 fl(5) = 0.0 fl(6) = 0.0 fl(7) = 0.0 fl(8) = 1.0

fl(9) = 1.0 fl.10 = 1.0 fl.11 = 1.0 fl.12 = 1.0
 fl.13 = 1.0 fl.14 = 1.0 fl.15 = 1.0 fl.16 = 1.0
 fl.17 = 1.0 fl.18 = 0.0 fl.19 = 0.0 fl.20 = 1.0
 fl.21 = 1.0 fl.22 = 1.0 fl.23 = 1.0 fl.24 = 1.0
 fl.25 = 1.0 fl.26 = 1.0 fl.27 = 1.0 fl.28 = 1.0
 fl.29 = 0.0 fl.30 = 0.0 fl.31 = 1.0 fl.32 = 0.0
 fl.33 = 0.0 fl.34 = 1.0 fl.35 = 1.0 fl.36 = 1.0
 fl.37 = 1.0 fl.38 = 1.0 fl.39 = 1.0 fl.40 = 1.0
 fl.41 = 1.0 fl.42 = 1.0 fl.43 = 1.0 fl.44 = 1.0
 fl.45 = 1.0 fl.46 = 1.0 fl.47 = 1.0 fl.48 = 1.0
 fl.49 = 1.0 fl.50 = 1.0 fl.51 = 1.0 fl.52 = 1.0
 fl.53 = 1.0
 24. alft1 = 80.0 alft2 = 210.0 alft3 = 310.0 alft4 = 365.0
 alft5 = 365.0 alft6 = 365.0 alft7 = 365.0 alft8 = 365.0
 alft9 = 365.0 alftA = 365.0 alftB = 365.0 alftC = 365.0
 alfa1 = 0.0 alfa2 = 0.0 alfa3 = 0.0 alfa4 = 0.0
 alfa5 = 0.0 alfa6 = 0.0 alfa7 = 0.0 alfa8 = 0.0
 alfa9 = 0.0 alfaA = 0.0 alfaB = 0.0 alfaC = 0.0
 25. corgr = 5.0 donr = 0.2 ndr = 0.4 pdr = 0.010
 dopr = 0.010 nh4r = 0.300 no2r = 0.010 no3r = 0.2
 dipr = 0.010
 26. pl = 0.45 tcr1 = 11.5 topt1 = 8.5 tcr2 = 29.0
 topt2 = 26.0 tpeak = 12.0 ropt1 = 350.0 ropt2 = 350.0
 ropt3 = 350.0 ropt4 = 350.0
 27. autmn = 0.1 ksed = 0.86 kres = 18.5 beta = 1.0
 bstep = 1.0
 n2atm = 14.5
 night = 0.10
 28. ***** Значения температуры воды TO0(i) в нижнем слое *****
 S.1 = 2.0 S.2 = 2.0 S.3 = 2.0 S.4 = 2.0 S.5 = 6.3 S.6 = 4.5 S.7 = 4.8 S.8 = 8.0
 S.9 = 6.2 S.10 = 9.4

Пояснения по включенным в файл CONSTANTS характеристикам:

Метка 1: area1 ... area10 – площади акваторий (в данной версии модели значения этих параметров не используются);

angl1 ... angl10 – угол отклонения пространственной оси расположения водоема от оси координат для коррекции ветрового воздействия на перенос веществ водными потоками (в данной версии модели значения этих параметров не используются).

Метка 2: k(1) ... k(45) – константы скоростей процессов биотрансформации веществ, рассматриваемых в модели.

Метка 3: d(1) ... d.209 – коэффициенты предпочтения в потреблении различных веществ гидробионтами.

Метка 4: v(1) ... v(51) – коэффициенты отмирания гидробионтов.

Метка 5: g(1) ... g(69) – регулировочные коэффициенты для включения и выключения отдельных процессов.

Метка 6: h(1) ... h(26) – стехиометрические коэффициенты.

Метка 7: a(1) ... a(44) – коэффициенты выделительной активности гидробионтов.

Метка 8: s(1) ... s(15) – скорости седиментации взвешенного вещества (в данной версии модели значения этих параметров не используются, так как процесс седиментации описывается иначе).

Метка 9: tzo11 ... tzo17 – коэффициенты температурной функции для зоопланктона ZO1.

Метка 10: tzo21 ... tzo27 – коэффициенты температурной функции для зоопланктона ZO2.

Метка 11: tb11 ... tb17 – коэффициенты температурной функции для гетеротрофных бактерий B1.

Метка 12: tb21 ... tb27 – коэффициенты температурной функции для бактерий B2.

Метка 13: tb31 ... tb37 – коэффициенты температурной функции для бактерий B3.

Метка 14: tb41 ... tb47 – коэффициенты температурной функции для бактерий B4.

Метка 15: tb51 ... tb57 – коэффициенты температурной функции для бактерий B5.

Метка 16: tdt1 ... tdt7 – коэффициенты температурной функции для процесса разложения детрита ND в DON.

Метка 17: tdt1 ... tdt7 – коэффициенты температурной функции для процесса разложения детрита PD в DOP.

Метка 18: tds1 ... tds7 – коэффициенты температурной функции для процесса разложения детрита SiD в DOSi.

Метка 19: tf1.1 ... tf1.7 – коэффициенты температурной функции для фитопланктона первой группы F1.

Метка 20: tf2.1 ... tf2.7 – коэффициенты температурной функции для фитопланктона первой группы F2.

Метка 21: tf3.1 ... tf3.7 – коэффициенты температурной функции для фитопланктона первой группы F3.

Метка 22: tmk.1 ... tmk.7 – коэффициенты температурной функции для макрофитов МК.

Метка 23: fl(1) ... fl.53 – коэффициенты, регулирующие влияние гидродинамического переноса на содержание химических и биологических переменных (значение коэффициента 0.0 означает отсутствие влияния, как правило, для компонентов в седиментах, при значениях параметров = 1.0 – влияние переноса есть).

Метка 24: alft1 ... alftC
alfa1 ... alfaC – коэффициенты, регулирующие временной диапазон значений (alft) и самих величин alfa – соотношений органических компонентов в разные месяцы (в данной версии модели значения этих параметров не используются).

Метка 25: cogr = 5.0; donr = 0.2; ndr = 0.4; pdr = 0.010; dopr = 0.010; nh4r = 0.3; no2r = 0.01; no3r = 0.2; dipr = 0.01 – концентрации биогенных веществ в атмосферной влаге.

Метки 26 и 27:
p1 = 0.45 tcr1 = 11.5 topt1 = 8.5 tcr2 = 29.0 topt2 = 26.0
tpeak = 12.0 ropt1 = 350.0 ropt2 = 350.0 ropt3 = 350.0 ropt4 = 350.0
autmn = 0.1 ksed = 0.86 kres = 18.5 beta = 1.0 bstep = 1.0
n2atm = 14.5
night = 0.10

– значения параметров для вычисления отдельных характеристик по эмпирическим уравнениям.

Метка 28: ***** Значения температуры воды TO0(i) в нижнем слое *****

S.1 = 2.0 S.2 = 2.0 S.3 = 2.0 S.4 = 2.0 S.5 = 6.3 S.6 = 4.5 S.7 = 4.8
S.8 = 8.0 S.9 = 6.2 S.10 = 9.4

(в данной версии модели эта строка уже не используется для ввода данных, а значения температуры в нижнем слое заданы при считывании информации из файла TEMP2.txt).

3.3. Файл C_month

Файл C_month – заданные начальные значения параметров (концентраций биогенных веществ и биомасс гидробионтов, все в мг Элемента/л) в верхнем и нижнем слоях для десяти акваторий, а также ежемесячные концентрации компонентов в притоках для каждой акватории изучаемого водоема. Структура файла C_month состоит из нескольких блоков:

первый блок – «ЭПИЛИМНИОН», включает начальные (на момент начала расчетов) концентрации параметров верхнего слоя для секторов (участков) 1–10;

второй блок – «ГИПОЛИМНИОН», показывает концентрации веществ в нижнем слое (его структура такая же, как и первого блока);

третий–тринадцатый блоки – имеют подобную структуру, предназначены для ввода среднемесячных значений концентраций веществ, приносимых в каждую акваторию с водами притоков. Если таких притоков для конкретного участка нет, в этот файл для этого участка информация не заносится и во входных данных в файле WAT в столбце IN для данного участка не ставится 1 (означает наличие притока на данном участке).

В этом разделе показаны блоки 1 и 3 и даны пояснения по включенным в указанные файлы характеристикам.

Структура блока 1:

ЭПИЛИМНИОН, НАЧАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СЕКТОРОВ (МГ/Л)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1C	1.7e-4	10.0	10.0							
B1N	3.4e-5	0.0500	0.05							
B1P	1.0e-5	3.0000	3.00							
B2N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8000.0	8000.0
B3N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.0
B4C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0800	0.08
B5C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0150	0.015
F1N	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0130	0.013
F1P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0004
F2N	3.5e-4	10.000	10.0							
F2P	5.0e-5	5.0	5.0							
F3N	7.0e-5									
F3P	1.0e-5									
Z1N	8.0e-5									
Z1P	1.0e-6									
Z2N	3.2e-5									
Z2P	0.4e-5									
MKN	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
MKP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
CORG	5.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0		
DON	0.2	0.19	0.164	0.164	0.16	0.157	0.164	0.15		
ND	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03		

PD	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075		
DOP	0.05	0.04	0.037	0.037	0.037	0.037	0.030	0.030		
NH4	0.022	0.021	0.018	0.018	0.018	0.018	0.016	0.015		
NO2	0.0031	0.0015	0.0011	0.0011	0.0011	0.0020	0.0020	0.0020		
NO3	0.9	0.85	0.8	0.8	0.8	0.912	0.912	0.912		
DIP	0.041	0.031	0.033	0.033	0.033	0.057	0.057	0.057		
NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
FNL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
O2	11.62	10.07	10.00	10.07	9.93	17.34	17.69	17.34		
PS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
HM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
FI1N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI1P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI2N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI2P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI3N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI3P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI4N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI4P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI5N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
FI5P	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
CORGS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
NDS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
NH4S	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		
NO3S	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		
N2	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0		
PDS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
DIPS	0.03	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
O2SED	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0		
N2S	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0		
F1SI	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005		
SiO4	0.736	0.546	0.546	0.546	0.546	1.29	1.79	1.79		
SID	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		
Z1SI	8.0e-4									
HS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
SAL	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0		
UR	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079		
SIDS	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
SiO4S	0.100	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
B1SI	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-5	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-4	1.5e-4
SiORG	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.2	0.2
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Условные обозначения входных параметров первого блока «ЭПИ-ЛИМНИОН»:

B1C, B1N, B1P – биомасса в воде гетеротрофных бактерий в единицах C, N и P соответственно;

B2N, B3N – биомасса в воде бактерий *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* соответственно в единицах N;

B4C, B5C – биомасса в воде фенолоксиляющих и нефтеоксиляющих бактерий соответственно;

F1N, F1P – биомасса в воде фитопланктона первой группы в единицах N и P соответственно;

F2N, F2P – биомасса в воде фитопланктона второй группы в единицах N и P соответственно;

F3N, F3P – биомасса в воде фитопланктона третьей группы в единицах N и P соответственно;

Z1N, Z1P – биомасса в воде зоопланктона первой группы в единицах N и P соответственно;

Z2N, Z2P – биомасса в воде зоопланктона второй группы в единицах N и P соответственно;

MKN, MKP – биомасса макрофитов в единицах N и P соответственно;

CORG – концентрация в воде растворенного органического C;

DON – концентрация в воде растворенного органического N;

ND – концентрация в воде взвешенного органического N (или детрита) в единицах N;

PD – концентрация в воде взвешенного органического P (или детрита) в единицах P;

DOP – концентрация в воде растворенного органического P;

NH4 – концентрация в воде аммонийного N;

NO2 – концентрация в воде нитритного N;

NO3 – концентрация в воде нитратного N;

DIP – концентрация в воде растворенного неорганического P (ортофосфатов);

NF – концентрация в воде нефтепродуктов;

FNL – концентрация в воде фенола;

O2 – концентрация в воде растворенного кислорода;

PS – концентрация в воде пестицидов;

HM – концентрация в воде тяжелых металлов (не идентифицирована);

FI1N, FI1P – биомасса популяции рыб (1-я группа) в единицах N и P соответственно;

FI2N, FI2P – биомасса популяции рыб (2-я группа) в единицах N и P соответственно;

FI3N, FI3P – биомасса популяции рыб (3-я группа) в единицах N и P соответственно;

FI4N, FI4P – биомасса популяции рыб (4-я группа) в единицах N и P соответственно;

FI5N, FI5P – биомасса популяции рыб (5-я группа) в единицах N и P соответственно;

CORGS, NDS, NH4s, NO3s – концентрации в осадках растворенного органического C, ND, NH4 и NO3 соответственно;

N2 – концентрация в воде растворенного свободного (газообразного) N;

PDs, DIPs, O2SED, N2s – концентрации в осадках PD, DIP, O2 и N2 соответственно;

F1Si – биомасса фитопланктона первой группы в единицах Si;

SiO4 – концентрация в воде силикатов;

SID – концентрация в воде взвешенного органического Si (или детрита) в единицах Si;

Z1Si – биомасса зоопланктона первой группы в единицах Si;

HS – концентрация в воде гидросульфидов;

SAL – соленость воды;

UR – концентрация в воде мочевины в единицах N;

SiDs, SiO4s – концентрация в осадках взвешенного органического Si (детрита) и SiO4;

B1Si – биомасса гетеротрофных бактерий в единицах Si;

SiORG – концентрация в воде растворенного органического Si.

Структура второго блока «ГИПОЛИМНИОН» и последовательность ввода параметров в нем идентичны первому блоку, и поэтому второй блок информации здесь не приводится.

Структура третьего блока информации:

```

***** КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ В ПРИТОКАХ ПОМЕСЯЧНО (МГ/Л) *****
                                01-Й ПРИТОК *****
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
      |ЯНВАРЬ|ФЕВРАЛЬ|МАРТ|АПРЕЛЬ|МАЙ|ИЮНЬ|ИЮЛЬ|АВГУСТ|СЕНТ.|ОКТЯБРЬ|НОЯБРЬ|ДЕКАБРЬ|
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
B1C |3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|3.0e-5|
B1N |4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|4.0e-6|
B1P |1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|
B2N |00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|
B3N |00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|
B4C |00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|
B5C |00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|00.000|
F1N |5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|5.0e-6|
F1P |1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|1.0e-6|
F2N |5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|
F2P |1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|
F3N |5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|
F3P |1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|
Z1N |5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|
Z1P |1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|
Z2N |5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|5.0e-7|
Z2P |1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|1.0e-7|
MKN |0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|
MKP |0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|0.00000|
CORG |2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|2.0|
DON |0.168|0.168|0.14|0.14|0.14|0.14|0.14|0.084|0.112|0.112|0.175|0.175|
ND |0.002|0.002|0.002|0.002|0.005|0.005|0.005|0.005|0.005|0.005|0.002|0.002|
PD |0.001|0.001|0.001|0.001|0.002|0.002|0.002|0.002|0.002|0.002|0.001|0.001|
DOP |0.031|0.028|0.028|0.025|0.025|0.022|0.019|0.006|0.019|0.022|0.02|0.02|
NH4 |0.016|0.016|0.012|0.009|0.009|0.011|0.015|0.050|0.070|0.011|0.017|0.017|
NO2 |0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|0.0005|
NO3 |0.752|0.896|0.896|0.448|0.368|0.288|0.192|0.208|0.208|0.224|0.656|0.656|
DIP |0.0470|0.0560|0.0560|0.0280|0.0230|0.0180|0.012|0.0130|0.0130|0.0140|0.0410|0.0410|
NF |0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|0.00|
FNL |0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|0.000|
O2 |7.692|7.692|7.692|7.832|7.832|7.832|7.552|7.552|7.553|7.692|7.692|7.692|
PS |0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|
HM |0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|0.0000|
FI1N | | | | | | | | | | | | | |
FI1P | | | | | | | | | | | | | |
FI2N | | | | | | | | | | | | | |
FI2P | | | | | | | | | | | | | |
FI3N | | | | | | | | | | | | | |
FI3P | | | | | | | | | | | | | |
FI4N | | | | | | | | | | | | | |

```

```

FI4P | | | | | | | | | | | | | |
FI5N | | | | | | | | | | | | | |
FI5P | | | | | | | | | | | | | |
CORGS|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
NDS | | | | | | | | | | | | | |
NH4S | | | | | | | | | | | | | |
NO3S | | | | | | | | | | | | | |
N2 | | | | | | | | | | | | | |
PDS | | | | | | | | | | | | | |
DIPS | | | | | | | | | | | | | |
O2SED| | | | | | | | | | | | | |
N2S | | | | | | | | | | | | | |
F1SI |0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|0.001|
SIO4 |1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|
SID |0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|
Z1SI |1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|1.0e-5|
HS |0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
SAL |35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|35.0|
UR |0.010|0.010|0.010|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|0.070|
SIDS |0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|0.35|
SIO4S|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|
B1SI |2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|2.0e-4|
SIORG|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|1.430|
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

```

Все обозначения параметров третьего блока такие же, как в первом и втором блоках. Структура четвертого–тринадцатого блоков точно такая же, как третьего блока, поэтому они не приводятся и не обсуждаются.

3.4. Файл Deri_V

Файл Deri_V приводит для каждой акватории изучаемого водоема значения положения по глубине термоклина (в м), а также объемов воды (км³) в каждый месяц. Структура файла Deri_V следующая:

```

***** Глубина залегания термоклина (в метрах) для секторов 1-10 *****
--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
  | ЯНВ.|ФЕВР.|МАРТ|АПР.|МАЙ|ИЮНЬ|ИЮЛЬ|АВГ.|СЕНТ.|ОКТ.|НОЯБ.|ДЕК.|
--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
1| 0.0|0.0|0.0|10.0|0.0|0.0|0.0|0.0|10.0|0.0|0.0|0.0|
2| 0.0|0.0|0.0|20.0|20.0|20.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
3| 0.0|0.0|0.0|20.0|30.0|30.0|40.0|40.0|50.0|50.0|50.0|50.0|
4| 0.0|0.0|0.0|20.0|30.0|30.0|40.0|40.0|50.0|50.0|50.0|50.0|
5| 0.0|0.0|0.0|20.0|30.0|30.0|40.0|40.0|40.0|40.0|40.0|40.0|
6| 0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
7| 0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
8| 0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
9| 0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
10| 0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|0.0|
--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

```

**** ОБЪЕМ ВОДЫ В СЕКТОРАХ (КУБ.КМ) *****

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЯНВАРЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
ФЕВРАЛЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
МАРТ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
АПРЕЛЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
МАЙ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
ИЮНЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
ИЮЛЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
АВГУСТ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
СЕНТЯБРЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
ОКТАБРЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
НОЯБРЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					
ДЕКАБРЬ	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8					

3.5. Файл WAT

Файл WAT содержит информацию о расходах воды (км³/мес.), по которым в модели производится расчет переноса веществ через границы акваторий (вертикальные столбцы 1–10), привнос веществ с водами притоков в акватории 1–10 (столбец IN) и вынос веществ из акваторий 1–10 (столбец OUT) для верхнего слоя (обозначен в файле как ЭПИЛИМНИОН) и нижнего слоя (ГИПОЛИМНИОН). Такая информация задается для каждого месяца. Перед вводом для каждого месяца информации о расходах воды задается матрица взаимодействий, по которой в процессе вычислений в модели производится расчет характеристик переноса, в этой матрице показано, между какими акваториями действует перенос (обозначено 1). Пример такой матрицы показан ниже:

ЭПИЛИМНИОН

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IN	OUT
1	1											
2		1	1	1								
3			1	1	1						1	1
4				1	1	1					1	1
5					1	1					1	1
6												
7												
8												
9												
10												

Понимать приведенные в матрице цифры 1 следует так: 1 на пересечении горизонтальной строки 1 и вертикального столбца 1 означает, что в какой-либо месяц года может действовать вертикальный перенос

в акватории 1, если хотя бы для одного месяца в году по вертикали отмечалось формирование двух слоев (по положению слоя скачка температуры). Точно так же поступают и в случае акваторий 2, 3, 4 и 5 (смотри приведенный фрагмент файла WAT).

Цифры 1 в других клетках матрицы означают, что между указанными акваториями на горизонтальной оси и соответствующей акваторией вертикальной оси есть перенос в конкретный месяц года. Например, цифра 1, которая стоит на пересечении горизонтальной линии акватории 1 с вертикальным столбцом 2, означает, что в какой-либо месяц года есть перенос из акватории 2 в акваторию 1. Если в какой-то месяц такого переноса нет, то значение расхода воды в этот месяц принято равным 0.0.

Цифровая информация по расходам заносится в подобную таблицу для каждого месяца – сначала для верхнего слоя. Фрагмент файла WAT для месяца 1 верхнего слоя приведен ниже:

Month=01, ЭПИЛИМНИОН (ВОДООБМЕН В КУБ.КМ/МЕС.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IN	OUT
1	0.0	3.25										
2		0.0	2.23	3.000								
3			0.0	0.0	2.090						0.0	4.38
4				0.0	0.350						0.000	9.44
5					0.0	0.0					0.0	3.520
6												
7												
8												
9												
10												

Подобная информация представляется в этом файле для остальных месяцев (со второго по двенадцатый месяц) с соответствующими значениями переносов (по вертикали, через границы между акваториями, а также притоками и стоками). Затем приводятся матрица взаимодействий и файлы входных данных по расходам для месяцев с первого по двенадцатый для нижнего слоя. Структура всех введенных файлов для верхнего и нижнего слоев идентична, поэтому примеры файлов для нижнего слоя не демонстрируются и не обсуждаются.

3.6. Файл TEMP2

Файл TEMP2 содержит данные по температуре воды (°C) нижнего слоя для каждых суток года (от нулевых начальных до последних 365-х) для акваторий 1–10. Значения температуры могут быть заданы для каждого дня года либо средними для каждого месяца, либо фрагментарными данными для конкретного дня года. Пропуски значений температуры для отдельных дней задаются числом –9.0. Перед выполнением расчетов все файлы входных данных считаются. Если в файлах, где приводятся данные по температуре, встречаются значения –9.0, то проводится интерполяция значений температуры для данного

дня года по предыдущему и последующему ее значениям в данном файле. Ниже приведен фрагмент структуры файла TEMP2:

```
PRINTO TO 1
DAY 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
0.0 0.8 0.9 1.6 1.7 1.3 4.5 4.8 8.0 6.2 9.4
1.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
2.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
3.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
4.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
5.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
6.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
7.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
8.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
9.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
10.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
11.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
12.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
13.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
14.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
.....
.....
364.0 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000 -9.00000
365.0 0.8 0.9 1.6 1.7 1.3 4.5 4.8 8.0 6.2 9.4
```

3.7. Файл Q1...Q10

Файл Q1...Q10 включает характеристики водного режима: расходы воды на входе в участок и на его выходе (соответственно QIN и QOUT), поступление атмосферной влаги (QPR) для акваторий 1–10 и каждого дня года (от нулевого начального до последнего 365-го). Значения параметров водного режима могут быть заданы для каждого дня года либо средними для каждого месяца, либо фрагментарными данными для конкретного дня года. Пропуски значений для отдельных дней задаются числом –1.0. При считывании данных по водному режиму и наличии в файле значений –1.0 проводится интерполяция значений параметров водного режима (по предыдущему и последующему значениям в данном файле). Ниже приведен фрагмент структуры файла Q1 (для акватории 1):

```
0=PRINT THE INPUT 0=FOR THE AVERAGING
DAY QIN S-1 QOUT S-1 QPR S-1
0 0.0000355 0.00005670 0.2347
1 -1.000000 -1.000000 -1.000000
2 -1.000000 -1.0 -1.0
3 -1.000000 -1.0 -1.0
4 -1.000000 -1.0 -1.0
5 -1.000000 -1.0 -1.0
6 -1.000000 -1.0 -1.0
7 -1.000000 -1.0 -1.0
8 -1.000000 -1.0 -1.0
```

```
9 -1.000000 -1.0 -1.0
10 -1.000000 -1.0 -1.0
.....
.....
364 -1.000000 -1.0 -1.0
365 0.0001563 0.00005460 0.2012
```

В последней версии модели значения QIN и QOUT задаются и вводятся в файле WAT, который унифицирует водный блок модели и позволяет вводом входных данных задать и условия переноса в изучаемом водоеме. Из данного файла считываются и используются в расчетах только значения QPR – количественная характеристика поступающих в данную акваторию атмосферных осадков. В первой строке файла «0=PRINT THE INPUT 0=FOR THE AVERAGING» задаются режимы работы с ним: значение 0=PRINT означает, что при считывании файл печатать не следует, при 1=PRINT файл после прочтения и интерполяции входных данных будет распечатан; значение 0=FOR THE AVERAGING означает использование в расчетах оригинальных значений, введенных изначально в файл. При использовании 1=FOR..., 2=FOR... или 3=FOR... при считывании информации будут проведены интерполяция значений вводимых параметров, а затем их осреднение с шагом неделя, месяц или сезон соответственно. Команда на осреднение задается в файле входных данных TIMES.

3.8. Файл PHYS1...PHYS10

Файл PHYS1...PHYS10 включает величины физических характеристик (температура TO, °C; освещенность водной среды ARAD, кал/(см² сут); фотопериод FDAY, отношение продолжительности светового дня к 24 часам, безразмерный параметр; прозрачность водной среды DS, м; средняя глубина DPTH, м) для каждого участка водоема по суткам за год. Предусмотрена возможность интерполяции данных внутри файла, если нет информации для конкретного дня. Ниже приведен фрагмент структуры файла PHYS1 (для акватории 1):

```
PRINTO TO 1 ARAD 1 FDAY 1 DS 1 DPTH 1
DAY TO ARAD FDAY DS DPTH
0.0 0.8 112.9 0.34 10.0 16.4
1.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
2.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
3.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
4.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
5.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
6.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
7.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
8.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
9.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
10.0 -9.00000 -1.00000 0.34000 -1.00000 -1.00000
.....
.....
365.0 0.8 112.9 0.333 10.0 16.4
```

Первая строка файла «PRINT0 TO 1 ARAD 1 FDAY 1 DS 1 DPTH 1» – командная, в которой задается режим работы с файлом и с его информацией. Ввод PRINT0 означает, что печатать файл не следует, а PRINT1 – файл надо распечатать. Цифра 1 около параметров файла (TO 1 ARAD 1 FDAY 1 DS 1 DPTH 1) означает использование в расчетах введенной информации; использование других цифр (2, 3 или 4) означает, что информация должна быть осреднена с заданным шагом осреднения (задается в файле TIMES).

3.9. Файл CONC1...CONC10

Файл CONC1...CONC10 включает значения исходных параметров, требуемых для выполнения модельных расчетов для акваторий 1–10. Для каждой акватории структура файла одинакова и состоит из нескольких блоков, по которым на примере файла для акватории 1 (CONC1) будут даны пояснения. Ниже приведен фрагмент структуры файла CONC1 (для акватории 1):

```

1. sect = 1.0
   rifs1 = 1.0      rifs2 = 1.0      rifs3 = 1.0      rifs4 = 1.0
   rifs5 = 1.0      rifs6 = 1.0      rifs7 = 1.0      rifs8 = 1.0
   rimk = 1.0       rimk1 = 1.0      to = 0.01        o2s = 14.62
   vv = 7.6         epska = 2.0        epskb = 0.0088   epskc = 0.054
   degkc = 0.66     pdsed = 0.145      dipsd = 0.0000145 dopsd = 0.005
   dpth = 16.4      dtbt = 16.4        urunf = 0.0      dipld = 0.0
   udpld = 0.0      lfp0 = 0.0         lbp0 = 0.0      lzop0 = 0.0
   lprp0 = 0.00     ds = 0.5

2. ***** эпителимнион *****
   cz(1) = 0.0      cz(2) = 0.0      cz(3) = 0.0      cz(4) = 0.0
   cz(5) = 0.0      cz(6) = 0.0      cz(7) = 0.0      cz(8) = 0.0
   cz(9) = 0.0      cz.10 = 0.0      cz.11 = 0.0      cz.12 = 0.0
   cz.13 = 0.0      cz.14 = 0.0      cz.15 = 0.0      cz.16 = 0.0
   cz.17 = 0.0      cz.18 = 0.0

3. ***** гиполимитнион *****
   cz(1) = 0.0      cz(2) = 0.0      cz(3) = 0.0      cz(4) = 0.0
   cz(5) = 0.0      cz(6) = 0.0      cz(7) = 0.0      cz(8) = 0.0
   cz(9) = 0.0      cz.10 = 0.0      cz.11 = 0.0      cz.12 = 0.0
   cz.13 = 0.0      cz.14 = 0.0      cz.15 = 0.0      cz.16 = 0.0
   cz.17 = 0.0      cz.18 = 0.0

4. ***** эпителимнион (загрязнители) *****
   tcz11 = 31.0     tcz12 = 59.0     tcz13 = 90.0     tcz14 = 120.0
   tcz15 = 151.0    tcz16 = 181.0    tcz17 = 212.0    tcz18 = 243.0
   tcz19 = 273.0    tcz1A = 304.0    tcz1B = 334.0    tcz1C = 365.0
   cz1.1 = 0.00000000 cz1.2 = 0.00000000 cz1.3 = 0.00000000 cz1.4 = 0.00000000
   cz1.5 = 0.00000000 cz1.6 = 0.00000000 cz1.7 = 0.00000000 cz1.8 = 0.00000000
   cz1.9 = 0.00000000 cz1.A = 0.00000000 cz1.B = 0.00000000 cz1.C = 0.00000000
   tcz21 = 31.0     tcz22 = 59.0     tcz23 = 90.0     tcz24 = 120.0
   tcz25 = 151.0    tcz26 = 181.0    tcz27 = 212.0    tcz28 = 243.0
   tcz29 = 273.0    tcz2A = 304.0    tcz2B = 334.0    tcz2C = 365.0
   cz2.1 = 0.00000000 cz2.2 = 0.00000000 cz2.3 = 0.00000000 cz2.4 = 0.00000000
   cz2.5 = 0.00000000 cz2.6 = 0.00000000 cz2.7 = 0.00000000 cz2.8 = 0.00000000
   cz2.9 = 0.00000000 cz2.A = 0.00000000 cz2.B = 0.00000000 cz2.C = 0.00000000

```

```

tcz31 = 31.0      tcz32 = 59.0      tcz33 = 90.0      tcz34 = 120.0
tcz35 = 151.0     tcz36 = 181.0     tcz37 = 212.0     tcz38 = 243.0
tcz39 = 273.0     tcz3A = 304.0     tcz3B = 334.0     tcz3C = 365.0
cz3.1 = 0.00000000 cz3.2 = 0.00000000 cz3.3 = 0.00000000 cz3.4 = 0.00000000
cz3.5 = 0.00000000 cz3.6 = 0.00000000 cz3.7 = 0.00000000 cz3.8 = 0.00000000
cz3.9 = 0.00000000 cz3.A = 0.00000000 cz3.B = 0.00000000 cz3.C = 0.00000000
tcz41 = 31.0      tcz42 = 59.0      tcz43 = 90.0      tcz44 = 120.0
tcz45 = 151.0     tcz46 = 181.0     tcz47 = 212.0     tcz48 = 243.0
tcz49 = 273.0     tcz4A = 304.0     tcz4B = 334.0     tcz4C = 365.0
cz4.1 = 0.00000000 cz4.2 = 0.00000000 cz4.3 = 0.00000000 cz4.4 = 0.00000000
cz4.5 = 0.00000000 cz4.6 = 0.00000000 cz4.7 = 0.00000000 cz4.8 = 0.00000000
cz4.9 = 0.00000000 cz4.A = 0.00000000 cz4.B = 0.00000000 cz4.C = 0.00000000
tcz51 = 31.0      tcz52 = 59.0      tcz53 = 90.0      tcz54 = 120.0
tcz55 = 151.0     tcz56 = 181.0     tcz57 = 212.0     tcz58 = 243.0
tcz59 = 273.0     tcz5A = 304.0     tcz5B = 334.0     tcz5C = 365.0
cz5.1 = 0.00000000 cz5.2 = 0.00000000 cz5.3 = 0.00000000 cz5.4 = 0.00000000
cz5.5 = 0.00000000 cz5.6 = 0.00000000 cz5.7 = 0.00000000 cz5.8 = 0.00000000
cz5.9 = 0.00000000 cz5.A = 0.00000000 cz5.B = 0.00000000 cz5.C = 0.00000000
tcz61 = 31.0      tcz62 = 59.0      tcz63 = 90.0      tcz64 = 120.0
tcz65 = 151.0     tcz66 = 181.0     tcz67 = 212.0     tcz68 = 243.0
tcz69 = 273.0     tcz6A = 304.0     tcz6B = 334.0     tcz6C = 365.0
cz6.1 = 0.00000000 cz6.2 = 0.00000000 cz6.3 = 0.00000000 cz6.4 = 0.00000000
cz6.5 = 0.00000000 cz6.6 = 0.00000000 cz6.7 = 0.00000000 cz6.8 = 0.00000000
cz6.9 = 0.00000000 cz6.A = 0.00000000 cz6.B = 0.00000000 cz6.C = 0.00000000
tcz71 = 31.0      tcz72 = 59.0      tcz73 = 90.0      tcz74 = 120.0
tcz75 = 151.0     tcz76 = 181.0     tcz77 = 212.0     tcz78 = 243.0
tcz79 = 273.0     tcz7A = 304.0     tcz7B = 334.0     tcz7C = 365.0
cz7.1 = 0.00000000 cz7.2 = 0.00000000 cz7.3 = 0.00000000 cz7.4 = 0.00000000
cz7.5 = 0.00000000 cz7.6 = 0.00000000 cz7.7 = 0.00000000 cz7.8 = 0.00000000
cz7.9 = 0.00000000 cz7.A = 0.00000000 cz7.B = 0.00000000 cz7.C = 0.00000000
tcz81 = 31.0      tcz82 = 59.0      tcz83 = 90.0      tcz84 = 120.0
tcz85 = 151.0     tcz86 = 181.0     tcz87 = 212.0     tcz88 = 243.0
tcz89 = 273.0     tcz8A = 304.0     tcz8B = 334.0     tcz8C = 365.0
cz8.1 = 0.00000000 cz8.2 = 0.00000000 cz8.3 = 0.00000000 cz8.4 = 0.00000000
cz8.5 = 0.00000000 cz8.6 = 0.00000000 cz8.7 = 0.00000000 cz8.8 = 0.00000000
cz8.9 = 0.00000000 cz8.A = 0.00000000 cz8.B = 0.00000000 cz8.C = 0.00000000
tcz91 = 31.0      tcz92 = 59.0      tcz93 = 90.0      tcz94 = 120.0
tcz95 = 151.0     tcz96 = 181.0     tcz97 = 212.0     tcz98 = 243.0
tcz99 = 273.0     tcz9A = 304.0     tcz9B = 334.0     tcz9C = 365.0
cz9.1 = 0.00000000 cz9.2 = 0.00000000 cz9.3 = 0.00000000 cz9.4 = 0.00000000
cz9.5 = 0.00000000 cz9.6 = 0.00000000 cz9.7 = 0.00000000 cz9.8 = 0.00000000
cz9.9 = 0.00000000 cz9.A = 0.00000000 cz9.B = 0.00000000 cz9.C = 0.00000000
tczA1 = 31.0      tczA2 = 59.0      tczA3 = 90.0      tczA4 = 120.0
tczA5 = 151.0     tczA6 = 181.0     tczA7 = 212.0     tczA8 = 243.0
tczA9 = 273.0     tczAA = 304.0     tczAB = 334.0     tczAC = 365.0
czA.1 = 0.00000000 czA.2 = 0.00000000 czA.3 = 0.00000000 czA.4 = 0.00000000
czA.5 = 0.00000000 czA.6 = 0.00000000 czA.7 = 0.00000000 czA.8 = 0.00000000
czA.9 = 0.00000000 czA.A = 0.00000000 czA.B = 0.00000000 czA.C = 0.00000000
tczB1 = 31.0      tczB2 = 59.0      tczB3 = 90.0      tczB4 = 120.0
tczB5 = 151.0     tczB6 = 181.0     tczB7 = 212.0     tczB8 = 243.0
tczB9 = 273.0     tczBA = 304.0     tczBB = 334.0     tczBC = 365.0

```

czB.1 = 00.0000000 czB.2 = 00.0000000 czB.3 = 0.00000000 czB.4 = 0.00000000
 czB.5 = 0.00000000 czB.6 = 0.00000000 czB.7 = 0.00000000 czB.8 = 0.00000000
 czB.9 = 0.00000000 czB.A = 0.00000000 czB.B = 0.00000000 czB.C = 0.00000000
 tczC1 = 31.0 tczC2 = 59.0 tczC3 = 90.0 tczC4 = 120.0
 tczC5 = 151.0 tczC6 = 181.0 tczC7 = 212.0 tczC8 = 243.0
 tczC9 = 273.0 tczCA = 304.0 tczCB = 334.0 tczCC = 365.0
 czC.1 = 00.00000000 czC.2 = 00.00000000 czC.3 = 0.00000000 czC.4 = 0.00000000
 czC.5 = 0.00000000 czC.6 = 0.00000000 czC.7 = 0.00000000 czC.8 = 0.00000000
 czC.9 = 0.00000000 czC.A = 0.00000000 czC.B = 0.00000000 czC.C = 0.00000000
 tczD1 = 31.0 tczD2 = 59.0 tczD3 = 90.0 tczD4 = 120.0
 tczD5 = 151.0 tczD6 = 181.0 tczD7 = 212.0 tczD8 = 243.0
 tczD9 = 273.0 tczDA = 304.0 tczDB = 334.0 tczDC = 365.0
 czD.1 = 00.00000000 czD.2 = 00.00000000 czD.3 = 0.00000000 czD.4 = 0.00000000
 czD.5 = 0.00000000 czD.6 = 0.00000000 czD.7 = 0.00000000 czD.8 = 0.00000000
 czD.9 = 0.00000000 czD.A = 0.00000000 czD.B = 0.00000000 czD.C = 0.00000000
 tczE1 = 31.0 tczE2 = 59.0 tczE3 = 90.0 tczE4 = 120.0
 tczE5 = 151.0 tczE6 = 181.0 tczE7 = 212.0 tczE8 = 243.0
 tczE9 = 273.0 tczEA = 304.0 tczEB = 334.0 tczEC = 365.0
 czE.1 = 00.00000000 czE.2 = 00.00000000 czE.3 = 0.00000000 czE.4 = 0.00000000
 czE.5 = 0.00000000 czE.6 = 0.00000000 czE.7 = 0.00000000 czE.8 = 0.00000000
 czE.9 = 0.00000000 czE.A = 0.00000000 czE.B = 0.00000000 czE.C = 0.00000000
 tczF1 = 31.0 tczF2 = 59.0 tczF3 = 90.0 tczF4 = 120.0
 tczF5 = 151.0 tczF6 = 181.0 tczF7 = 212.0 tczF8 = 243.0
 tczF9 = 273.0 tczFA = 304.0 tczFB = 334.0 tczFC = 365.0
 czF.1 = 00.00000000 czF.2 = 00.00000000 czF.3 = 0.00000000 czF.4 = 0.00000000
 czF.5 = 0.00000000 czF.6 = 0.00000000 czF.7 = 0.00000000 czF.8 = 0.00000000
 czF.9 = 0.00000000 czF.A = 0.00000000 czF.B = 0.00000000 czF.C = 0.00000000
 tc161 = 31.0 tc162 = 59.0 tc163 = 90.0 tc164 = 120.0
 tc165 = 151.0 tc166 = 181.0 tc167 = 212.0 tc168 = 243.0
 tc169 = 273.0 tc16A = 304.0 tc16B = 334.0 tc16C = 365.0
 cz161 = 00.00000000 cz162 = 00.00000000 cz163 = 0.00000000 cz164 = 0.00000000
 cz165 = 0.00000000 cz166 = 0.00000000 cz167 = 0.00000000 cz168 = 0.00000000
 cz169 = 0.00000000 cz16A = 0.00000000 cz16B = 0.00000000 cz16C = 0.00000000
 tc171 = 31.0 tc172 = 59.0 tc173 = 90.0 tc174 = 120.0
 tc175 = 151.0 tc176 = 181.0 tc177 = 212.0 tc178 = 243.0
 tc179 = 273.0 tc17A = 304.0 tc17B = 334.0 tc17C = 365.0
 cz171 = 00.00000000 cz172 = 00.00000000 cz173 = 0.00000000 cz174 = 0.00000000
 cz175 = 0.00000000 cz176 = 0.00000000 cz177 = 0.00000000 cz178 = 0.00000000
 cz179 = 0.00000000 cz17A = 0.00000000 cz17B = 0.00000000 cz17C = 0.00000000
 tc181 = 31.0 tc182 = 59.0 tc183 = 90.0 tc184 = 120.0
 tc185 = 151.0 tc186 = 181.0 tc187 = 212.0 tc188 = 243.0
 tc189 = 273.0 tc18A = 304.0 tc18B = 334.0 tc18C = 365.0
 cz181 = 00.00000000 cz182 = 00.00000000 cz183 = 0.00000000 cz184 = 0.00000000
 cz185 = 0.00000000 cz186 = 0.00000000 cz187 = 0.00000000 cz188 = 0.00000000
 cz189 = 0.00000000 cz18A = 0.00000000 cz18B = 0.00000000 cz18C = 0.00000000
 tc191 = 31.0 tc192 = 59.0 tc193 = 90.0 tc194 = 120.0
 tc195 = 151.0 tc196 = 181.0 tc197 = 212.0 tc198 = 243.0
 tc199 = 273.0 tc19A = 304.0 tc19B = 334.0 tc19C = 365.0
 cz191 = 0.00000000 cz192 = 0.00000000 cz193 = 0.00000000 cz194 = 0.00000000
 cz195 = 0.00000000 cz196 = 0.00000000 cz197 = 0.00000000 cz198 = 0.00000000
 cz199 = 0.00000000 cz19A = 0.00000000 cz19B = 0.00000000 cz19C = 0.00000000

5. ***** гиполимнион (загрязнители) *****

tk1.1 = 30.0 tk1.2 = 60.0 tk1.3 = 90.0 tk1.4 = 120.0 tk1.5 = 150.0
 tk1.6 = 180.0 tk1.7 = 210.0 tk1.8 = 240.0 tk1.9 = 270.0 tk1.A = 300.0
 tk1.B = 330.0 tk1.C = 365.0
 k1(1) = 1.0 k1(2) = 1.0 k1(3) = 1.0 k1(4) = 1.0 k1(5) = 1.0
 k1(6) = 1.0 k1(7) = 1.0 k1(8) = 1.0 k1(9) = 1.0 k1(A) = 1.0
 k1(B) = 1.0 k1(C) = 1.0
 tv4A = 30.0 tv4B = 60.0 tv4C = 90.0 tv4D = 120.0 tv4E = 150.0
 tv4F = 180.0 tv4G = 210.0 tv4H = 240.0 tv4I = 280.0 tv4J = 300.0
 tv4K = 330.0 tv4L = 365.0
 v.4A = 0.05 v.4B = 0.05 v.4C = 0.05 v.4D = 0.05 v.4E = 0.05
 v.4F = 0.05 v.4G = 0.05 v.4H = 0.05 v.4I = 0.05 v.4J = 0.05
 v.4K = 0.05 v.4L = 0.05
 ts9.1 = 30.0 ts9.2 = 60.0 ts9.3 = 90.0 ts9.4 = 120.0 ts9.5 = 150.0
 ts9.6 = 180.0 ts9.7 = 210.0 ts9.8 = 240.0 ts9.9 = 270.0 ts9.A = 300.0
 ts9.B = 330.0 ts9.C = 365.0
 s9(1) = 0.0 s9(2) = 0.0 s9(3) = 0.0 s9(4) = 0.0 s9(5) = 0.0
 s9(6) = 0.0 s9(7) = 0.0 s9(8) = 0.0 s9(9) = 0.0 s9(A) = 0.0
 s9(B) = 0.0 s9(C) = 0.0
 depth = 0.5
 k1 = 1.9 k2 = 2.50 k3 = 1.5 k6 = 3.5 k7 = 3.2
 k8 = 3.0 k9 = 2.1 k10 = 1.9 k11 = 2.3 a1 = 0.05
 a2 = 0.12 a3 = 0.5 a4 = 0.67 a5 = 1.0 a6 = 1.390
 a11 = 0.05 a12 = 0.14 a13 = 0.05 a14 = 0.07 a15 = 0.05
 a16 = 0.1 a17 = 0.049 a18 = 0.07 a19 = 0.049 a20 = 0.08
 a21 = 0.049 a22 = 0.07 a23 = 0.049 a24 = 0.08 a25 = 0.041
 a26 = 0.05 a27 = 0.035 a28 = 0.05 a29 = 0.0276 a30 = 0.0287
 a31 = 0.0276 a32 = 0.0287 a33 = 0.049 a34 = 0.05 a35 = 0.049
 a36 = 0.065 a37 = 0.05 a38 = 0.14 a39 = 0.051 a40 = 0.065
 a41 = 0.048 a42 = 0.052 v1 = 0.045 v2 = 0.055 v3 = 0.100
 v4 = 0.05 v5 = 0.0 v6 = 0.15 v7 = 0.05 v8 = 0.0
 v12 = 0.110 v13 = 0.08 v18 = 0.04 v19 = 0.35 v20 = 0.06
 v21 = 0.6 v22 = 0.0 v23 = 0.03 v24 = 0.0 v25 = 0.07
 v26 = 0.0 v27 = 0.03 v28 = 0.0 v29 = 0.07 v30 = 0.05
 v31 = 0.4 v32 = 0.075 v33 = 0.8 v34 = 0.04 v35 = 0.5
 v36 = 0.06 v37 = 1.0 v38 = 0.0 v39 = 0.15 v40 = 0.0
 v41 = 0.25 v44 = 0.03 v45 = 0.04 v46 = 0.03 v47 = 0.3
 v48 = 0.025 v49 = 0.2 d1 = 1.0 d2 = 0.5 d3 = 0.5
 d4 = 0.400 d5 = 0.0 d6 = 0.60 d7 = 1.0 d8 = 1.0
 d12 = 0.225 d13 = 0.075 d14 = 0.7 d15 = 0.00 d16 = 0.3
 d17 = 0.7 d18 = 0.3 d19 = 0.2 d20 = 0.3 d21 = 0.00
 d22 = 0.4 d23 = 0.6 d24 = 0.3 d25 = 0.02 d26 = 0.3
 d27 = 0.0 d28 = 0.4 d29 = 0.6 d30 = 0.48 d31 = 0.0
 d32 = 0.0 d33 = 0.0 d34 = 0.0 d35 = 0.34 d36 = 0.05
 d37 = 0.02 d38 = 0.78 d39 = 0.00 d40 = 0.0 d41 = 0.15
 d42 = 0.025 d43 = 0.025 d44 = 0.5 d45 = 0.0 d46 = 0.0
 d47 = 0.0 d48 = 0.0 d49 = 0.04 d50 = 0.0 d51 = 0.000
 d52 = 0.1 d53 = 0.75 d54 = 0.00 d55 = 0.0 d56 = 0.05
 d57 = 0.050 d58 = 0.2 d59 = 0.10 d60 = 0.1 d61 = 0.3

d62 = 0.700 d63 = 0.15 d184 = 0.20 d185 = 0.1 d186 = 0.15
d187 = 0.0 d188 = 1.0 d189 = 0.15 d190 = 0.85 d191 = 0.000
d192 = 0.05 d195 = 0.11 d196 = 0.31 d197 = 0.025 d198 = 0.025
d199 = 0.02 d200 = 0.1 d201 = 0.025 d202 = 0.025 g38 = 0.5
g39 = 0.01

Пояснения по отдельным блокам входного файла CONC1

Метка 1: дает информацию о рассматриваемой акватории (sect = 1.0) и начальных значениях характеристик, которые вычисляются в процессе проигрывания модели. Ряд характеристик после усовершенствования модели задается в других файлах входной информации (в этом случае их значения из этого файла во внимание не принимаются).

Метка 2: использованный в ранних версиях модели блок, описывающий скорости поступления биогенных веществ из рассредоточенных источников в верхний слой (ЭПИЛИМНИОН). Скорости принимались постоянными для всего периода расчетов. Сейчас этот блок не используется, так как ниже введена возможность ввода меняющихся для разных временных интервалов скоростей для разных биогенных веществ.

Метка 3: такие же комментарии к блоку по скоростям поступления биогенных веществ из рассредоточенных источников в нижний слой (ГИПОЛИМНИОН), как и для верхнего слоя.

Метка 4: используемая в данной версии модели структура ввода скоростей поступления биогенных веществ в верхний слой из рассредоточенных источников. Таковыми могут быть сбросы загрязнений с хозяйственными или промышленными стоками, поступления из седиментов и другие источники. Для каждого биогенного компонента используется два файла данных по 12 чисел. Первый файл временной – обозначается tcz1 (номер месяца), в нем указан номер дня в году, когда происходит смена одного месяца на другой (с учетом числа дней в каждом месяце):

tcz11 = 31.0 tcz12 = 59.0 tcz13 = 90.0 tcz14 = 120.0 tcz15 = 151.0
tcz16 = 181.0 tcz17 = 212.0 tcz18 = 243.0 tcz19 = 273.0 tcz1A = 304.0
tcz1B = 334.0 tcz1C = 365.0

Цифры в этом файле следует читать так: продолжительность первого периода, обозначенного tcz11 = 31.0, составляет от начального (нулевого) дня до t = 31 сут, второго периода – до t = 59 сут, третьего периода – до t = 90 сут и так далее до окончания последнего месяца (конца года).

Следующие 12 цифр показывают вводимые скорости поступления конкретного биогенного компонента (CZi) из заданного рассредоточенного источника, которые соответствуют указанным выше временным интервалам (в данном случае месяцам):

cz1.1 = 00.0000000 cz1.2 = 00.0000000 cz1.3 = 00.0000000 cz1.4 = 00.0000000
cz1.5 = 00.0000000 cz1.6 = 00.0000000 cz1.7 = 00.0000000 cz1.8 = 00.0000000
cz1.9 = 00.0000000 cz1.A = 00.0000000 cz1.B = 00.0000000 cz1.C = 00.0000000

Все последующие цифровые данные относятся к другим биогенным компонентам (сначала по времени, а затем по значениям скоростей). Таким образом, надо запомнить, каким биогенным компонентам соответствуют введенные в

этот файл обозначения CZi. Приводим перечень этих обозначений:

CZ1 означает поступление CORG,
CZ2 означает поступление DON,
CZ3 означает поступление ND,
CZ4 означает поступление PD,
CZ5 означает поступление DOP,
CZ6 означает поступление NH₄,
CZ7 означает поступление NO₂,
CZ8 означает поступление NO₃,
CZ9 означает поступление DIP,
CZ10 означает поступление NF,
CZ11 означает поступление FNL,
CZ12 означает поступление PS,
CZ13 означает поступление HM,
CZ14 означает поступление SiO₄,
CZ15 означает поступление SiD,
CZ16 означает поступление HS (источник 1),
CZ17 означает поступление HS (источник 2),
CZ18 означает поступление UR,
CZ19 означает поступление SiORG.

Метка 5: этот фрагмент файла не приводится, так как он такой же, как и предыдущий фрагмент, но для нижнего слоя.

Метка 6: показывает те значения коэффициентов, которые могут быть даны только для данной акватории, если есть какие-либо отличия в видовом составе сообщества гидробионтов и требуется их учесть в расчетах. Если таких отличий нет, то в этом блоке величины констант должны быть такими же, как и в файле CONSTANTS.

3.10. Файл WIND1...WIND10

Файл WIND1...WIND10 включает значения силы ветра (м/сек.) и его направления (в румбах) для заданных моментов времени (в данном случае среднесуточные значения для годового периода – 365 суток) для акваторий 1–10. Для каждой акватории структура файлов одинаковая. Ниже приведен фрагмент структуры файла WIND1 (для акватории 1):

```
0=PRINT THE INPUT
0=FOR THE AVERAGING
DAY SPEED DIRECTION
0.00 4.87 34
1.00 4.87 32
2.00 2.125 18
3.00 3.50 18
4.00 0.50 00
5.00 4.00 00
6.00 1.00 00
7.00 0.001 00
8.00 2.125 00
9.00 2.25 00
```

10.00	1.875	34
.....		
.....		
364.00	3.625	00
365.00	4.00	04

Верхние две строки командные – для графирования информации или для использования осреднения входных данных при проведении расчетов. Данные этого файла используются для расчетов ветровой составляющей переноса в процедуре CLCQW1. В строке «0=FOR THE AVERAGING» в случае 0 используются оригинальные данные этого файла, при 1 происходит осреднение данных за сутки, при 2 – за неделю, при 3 – за месяц, при 4 – за сезон.

После ввода в CNPSi-модель приведенных выше входных данных пользователь может произвести ее запуск, используя команду «l.exe» (она формируется после трансляции всех представленных в главе 2 подпрограмм и функций, а также входных параметров модели на используемом языке программирования). В данном случае использовалась для программирования версия REM.FORTRAN. При переходе к исследованию другого водного объекта представленная в указанных выше файлах входная информация заменяется другими данными (более или менее полными в сравнении с исследованным водоемом), которые характеризуют этот новый водный объект. Имеет смысл для каждого случая использования модели для изучения конкретного водоема создать изначально базу входных данных для выполнения расчетов на модели и пополнять ее со временем новой информацией (для конкретного года или полученных в рамках осуществляемых программ исследований) по мере поступления новых данных для уже исследованных водных объектов.

Вопросы для закрепления материала

1. Какая требуется информация для выполнения расчетов на модели?
2. Какова структура программы модели?
3. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле PHYS.CHAR1-10?
4. Максимально на какое количество акваторий можно разбить исследуемый водоем при его исследовании с помощью модели, описывающей трансформацию соединений CNPSi?
5. Какие файлы входной информации включены в блок DATA?
6. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле CONC1-10?
7. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле C_MONTH?
8. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле CONSTANTS?
9. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле TIMES?
10. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле WAT?
11. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле DEPI_V?
12. Какие входные данные (блок DATA) вводятся в файле WIND1-10?
13. В какой файл в блоке DATA вводятся данные по изменениям в течение года температуры воды в акваториях 1–10?
14. В какой файл в блоке DATA вводятся данные по изменениям в течение года освещенности воды в акваториях 1–10?
15. В какой файл в блоке DATA вводятся данные по изменениям в течение года фотопериода в акваториях 1–10?
16. Что такое значение фотопериода?

17. В какой файл в блоке DATA вводятся начальные концентрации веществ, изменения которых в течение года рассчитывает модель в акваториях 1–10?

18. В какой файл в блоке DATA вводятся среднемесячные значения концентраций веществ в притоках для акваторий 1–10?

19. В какой файл в блоке DATA вводятся среднемесячные значения объемов воды в акваториях 1–10?

20. В какой файл в блоке DATA вводятся среднемесячные значения положения по глубине слоя скачка температуры в акваториях 1–10?

21. В какой файл в блоке DATA вводятся значения констант и коэффициентов, использованных в уравнениях модели?

22. В какой файл в блоке DATA вводятся параметры режима выполнения расчетов?

23. В какой файл в блоке DATA вводятся характеристики водообмена (или значения расходов воды на границах смежных акваторий, в зонах впадения притоков и на внешних границах водоема)?

24. В какой файл в блоке DATA вводятся характеристики ветрового режима?

ГЛАВА 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Результаты расчетов на модели (выходные данные) формируются в специально организуемой директории \MODELREZ, которая строится сразу после запуска модели и заполняется в процессе выполнения расчетов на модели. Все приведенные далее фрагменты информации по выходным данным взяты из директории \MODELREZ, полученной при реализации данной модели для района зал. Анива Охотского моря [Леонов, Пищальник, 2005].

В директории \MODELREZ накапливаются для заданного временного периода (обычно годового цикла) результаты расчетов, которые распределяются по следующим файлам.

4.1. Файлы PLOT1...PLOT10

Файлы PLOT1...PLOT10 включают значения концентраций химических и биологических переменных для каждой исследованной акватории, соответствующие определенным моментам времени в заданном временном интервале расчетов. Временная дискретность записи расчетных данных в файлы PLOT1...PLOT10 определяется указанным во входных данных (в файле TIMES) шагом по времени для ее выполнения. Ниже приведен фрагмент записи информации в файле выходных данных PLOT1 для начального момента времени $t = 0.0$ и $t = 2.4$ сут:

0.000,	0.000170,	0.000034,	0.000010,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.000800,	0.000100,	0.000350,	0.000050,	0.000070,	0.000010,
0.000080,	0.000001,	0.000032,	0.000004,	0.000000,	0.000000,	3.500000,
0.200000,	0.030000,	0.007500,	0.015000,	0.006000,	0.003100,	0.120000,
0.021000,	0.050000,	0.000000,	11.620000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.000000,	3.000000,	1.000000,	0.500000,	0.300000,	8.000000,
0.100000,	0.050000,	5.000000,	6.000000,	0.005000,	0.320000,	0.200000,
0.000800,	0.000000,	35.000000,	0.079000,	0.100000,	0.300000,	0.000150,
0.100000, 1,						
2.400,	0.000178,	0.000034,	0.000010,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.016027,	0.000670,	0.000466,	0.000064,	0.000073,	0.000010,
0.000072,	0.000001,	0.000030,	0.000004,	0.000000,	0.000000,	3.541376,
0.211126,	0.028323,	0.006576,	0.016274,	0.007861,	0.001296,	0.111805,
0.020024,	0.050000,	0.000000,	11.731367,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,	0.000000,
0.000000,	0.000000,	2.497735,	0.911445,	0.153837,	0.299117,	17.666979,
0.089389,	0.061008,	4.246619,	6.146257,	0.271995,	0.080277,	0.395980,
0.000737,	0.000000,	35.000000,	0.070504,	0.119736,	0.310892,	0.000152,
0.014453, 1,						

Последовательность записи информации в файлах PLOT1...PLOT10 задается в подпрограмме PLOT.

4.2. Файл PROD

Файл PROD содержит расчетные значения удельных скоростей продукции гидробионтов для всех исследованных акваторий и моментов времени с указанной дискретностью, которая задается во входных данных (файл TIMES). Фрагмент файла PROD приведен ниже для двух моментов времени (первая цифра ряда, $t = 0,000$ и $t = 2,400$ сут) для акваторий 1–5 (номер акватории показан второй цифрой ряда 1, 2, 3, 4 и 5):

0.000, 1,	0.02332,	0.00638,	0.00124,	-0.08600,	-0.14926,	-0.17681,	-0.11734,	2.78863,
2.77867,	0.26891,	0.23440,	0.25570,	0.22293,	-0.01415,	-0.04381,	-0.00716,	-0.02682,
0.27855,	0.21336,	-2.03184,	0.01258,	0.01130,				
0.000, 2,	0.04161,	0.02397,	0.01704,	-0.08244,	-0.14730,	-0.16888,	-0.11652,	3.85567,
3.84567,	0.27496,	0.23966,	0.26170,	0.22814,	-0.00314,	-0.03454,	-0.00183,	-0.02153,
0.28523,	0.21846,	-3.36903,	0.02561,	0.02891,				
0.000, 3,	0.06488,	0.04636,	0.03716,	-0.07884,	-0.14532,	-0.15878,	-0.11569,	5.16663,
5.15666,	0.28116,	0.24505,	0.26782,	0.23345,	0.01042,	-0.02306,	0.00377,	-0.01596,
0.29205,	0.22365,	-6.07317,	0.04134,	0.05132,				
0.000, 4,	0.09415,	0.07452,	0.06245,	-0.07518,	-0.14332,	-0.14607,	-0.11484,	5.84483,
5.83484,	0.28747,	0.25052,	0.27406,	0.23887,	0.02705,	-0.00895,	0.00967,	-0.01010,
0.29899,	0.22895,	-8.39834,	0.06041,	0.07949,				
0.000, 5,	0.02331,	0.00637,	0.00123,	-0.08600,	-0.14926,	-0.17681,	-0.11734,	4.89423,
4.88426,	0.26781,	0.23345,	0.25549,	0.22274,	-0.01415,	-0.04380,	-0.00716,	-0.02682,
0.27855,	0.21336,	-5.36374,	0.01258,	0.01129,				
2.400, 1,	0.01261,	-0.00392,	-0.00802,	-0.08856,	-0.15067,	-0.18146,	-0.11793,	0.18613,
0.19183,	0.10144,	0.08868,	0.00099,	0.00128,	-0.05485,	-0.07261,	-0.04185,	-0.05819,
0.37001,	0.28302,	-0.45130,	-0.06175,	0.00098,				
2.400, 2,	0.03238,	0.01510,	0.00907,	-0.08413,	-0.14823,	-0.17289,	-0.11691,	0.04016,
0.03179,	0.12725,	0.11118,	0.00170,	0.00181,	-0.05148,	-0.07153,	-0.04038,	-0.05735,
0.50919,	0.38866,	-0.76934,	-0.04969,	0.02003,				
2.400, 3,	0.04342,	0.02572,	0.01862,	-0.08213,	-0.14713,	-0.16810,	-0.11645,	-0.04286,
-0.00063,	0.13928,	0.12167,	0.00203,	0.00207,	-0.05010,	-0.07095,	-0.03979,	-0.05698,
0.58025,	0.44242,	-0.54689,	-0.04541,	0.03066,				
2.400, 4,	0.06474,	0.04623,	0.03704,	-0.07886,	-0.14533,	-0.15885,	-0.11569,	0.00944,
0.01326,	0.16060,	0.14024,	0.00259,	0.00252,	-0.04791,	-0.06987,	-0.03888,	-0.05637,
0.70201,	0.53427,	-0.39369,	-0.03924,	0.05118,				
2.400, 5,	0.01261,	-0.00391,	-0.00802,	-0.08856,	-0.15067,	-0.18146,	-0.11793,	-0.06913,
-0.00269,	0.10119,	0.08846,	0.00099,	0.00128,	-0.05484,	-0.07261,	-0.04185,	-0.05819,
0.37159,	0.28422,	-0.83945,	-0.06171,	0.00098,				

После указываемого в файле PROD значения времени, которому соответствуют выполненные расчеты, и номера акватории, для которой они проведены, в файле в определенной последовательности приведены расчетные значения удельных скоростей продукции гидробионтов (расчет осуществляется в процедуре RATES1). Заданная в процедуре BAL последовательность расчетных значений продукции гидробионтов следующая: PRODB1C, PRODB1N, PRODB1P, PRODB2N, PRODB3N, PRODB4, PRODB5, PRODF1N, PRODF1P, PRODF2N, PRODF2P, PRODF3N, PRODF3P, PRODZ1N, PRODZ1P, PRODZ2N, PRODZ2P, PRODMKN, PRODMKP, PRODF1Si, PRODZ1Si, PRODB1Si. Первые четыре буквы PROD – сокращение слова PRODUCTION, затем следует обозначение гидробионтов, для которых выполнены оценки значений скоростей продукции.

4.3. Файл PLOTTRN

Файл PLOTTRN включает мгновенные значения времен оборота химических и биологических переменных для всех исследованных акваторий при заданных моментах временной дискретности. Фрагмент файла PLOTTRN приведен ниже для момента времени $t = 2.4$ сут (первая цифра файла); расчет выполнен для акваторий 1–5 и для каждой из них приводится расчетная информация с красной строки:

```
2.400, 20.232395, 17.340637, 16.746952, 0.000000, 0.000000, 7.850986,
0.000000, 3.012801, 3.169001, 7.214337, 9.763613, 348.606140, 508.314819,
32.190990, 25.054308, 41.690155, 31.121269, 0.000000, 0.000000, 394.248657,
186.269455, 20.430540, 27.239170, 90.623581, 3.422446, 4.700380, 57.314224,
92.875732,*****, 0.000000, 145.503113, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 100.033348, 49.608681, 2.474571, 6.672934, 15.911574,
38.580681, 26.927879, 26.764091, 136.569229, 4.440094, 2.749141, 5.507888,
28.983797, 0.000000, 0.000000, 62.625912, 9.735527, 81.298203, 18.107525,
0.374821, 1,
2.400, 15.272761, 13.496539, 12.970991, 0.000000, 0.000000, 7.124805,
0.000000, 8.038303, 8.045151, 5.744407, 7.751511, 287.736206, 407.375793,
32.414635, 24.484789, 41.808720, 30.884665, 0.000000, 0.000000, 640.160095,
687.017334, 42.790642, 36.803917, 148.749146, 9.459406, 8.722140, 202.888840,
131.744034, 124.849625, 0.000000, 101.702637, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 103.725891, 49.905922, 2.471809, 6.683913, 15.975912,
39.148064, 26.790850, 27.497913, 135.871475, 2.641977, 1.059179, 6.389678,
33.380753, 0.000000, 0.000000, 218.009033, 9.803942, 76.929504, 13.959444,
0.155962, 2,
2.400, 13.424208, 12.002482, 11.513580, 0.000000, 0.000000, 6.773360,
0.000000, 8.926286, 11.531619, 5.099224, 7.067717, 256.560333, 369.281769,
32.291286, 24.179123, 41.777519, 30.762598, 0.000000, 0.000000, 899.266663,
521.754211, 32.334991, 51.728165, 160.172531, 6.839218, 4.896085, 158.703384,
136.049728, 84.849747, 0.000000, 100.233902, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 107.460609, 50.229271, 2.464716, 6.687880, 16.018745,
39.799129, 26.753546, 27.492693, 135.571075, 3.700329, 0.277614, 23.609852,
34.930775, 0.000000, 0.000000, 156.874771, 12.552414, 79.695557, 12.367742,
0.064907, 3,
2.400, 10.869560, 9.879111, 9.452075, 0.000000, 0.000000, 6.181606,
0.000000, 9.164981, 9.884496, 4.375941, 6.107633, 220.554047, 316.548920,
31.860596, 23.625084, 41.653816, 30.551586, 0.000000, 0.000000, 894.920593,
648.314697, 63.039543, 57.503452, 147.787842, 8.631879, 6.790737, 171.610703,
116.628120, 124.849289, 0.000000, 102.037842, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 107.121902, 50.158184, 2.451989, 6.685010, 16.073942,
39.810333, 26.631201, 27.358843, 135.076767, 5.117967, 0.175207, 37.902679,
36.956833, 0.000000, 0.000000, 186.783829, 14.031511, 80.171455, 10.125812,
0.041256, 4,
2.400, 20.230350, 17.339115, 16.745436, 0.000000, 0.000000, 7.851014,
0.000000, 7.956074, 11.660069, 6.810201, 9.787855, 330.248810, 506.934052,
```

```
32.192520, 25.052937, 41.690300, 31.121143, 0.000000, 0.000000, 849.794189,
456.295044, 22.485931, 50.075413, 140.129471, 4.795774, 3.845242, 95.105331,
133.310699, 104.850067, 0.000000, 98.407494, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 108.466309, 50.639214, 2.489953, 6.679503, 15.948423,
40.107281, 26.917244, 27.718660, 136.569229, 2.428793, 0.622045, 9.487251,
28.996292, 0.000000, 0.000000, 127.553429, 13.660107, 82.410423, 18.105860,
0.110760, 5,
```

Расчет значений времен оборота переменных выполняется в процедуре BAL. Последовательность расчетных значений времен оборота переменных в файле PLOTTRN задается в процедуре PLOT, где формируется данный файл, используемый при последующей обработке результатов расчетов и графирования результатов моделирования.

4.4. Файл POTOК

Файл POTOК включает значения расчетных потоков трансформации веществ для всех переменных модели по всем исследованным акваториям (потоки считаются для каждого шага по времени и в файле запоминаются суммарные их значения для каждого месяца и всего годового цикла). При построении графиков для рассматриваемого потока проводится перерасчет от накопленных значений в течение выполняемого расчетного периода (годового цикла) для конкретного месяца с учетом числа дней в каждом месяце. Расчетные алгоритмы потоков веществ приводятся в подпрограммах DOSUMS, DOSUMS1 и DOSUMS1a. В целом проводятся расчеты потоков в следующей последовательности:

- rb1c – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах C (B1C);
- rb1n – 11 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах N (B1N);
- rb1p – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах P (B1P);
- rb2n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NH₄-окисляющих бактерий (*Nitrosomonas*) в водной среде в единицах N (B2N);
- rb3n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NO₂-окисляющих бактерий (*Nitrobacter*) в водной среде в единицах N (B3N);
- rb4c – 8 потоков для вычисляемой биомассы нефтеокисляющих бактерий в водной среде (в единицах C) (B4C);
- rb5c – 8 потоков для вычисляемой биомассы фенолоокисляющих бактерий в водной среде (в единицах C) (B5C);
- rf1n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах N) (F1N);
- rf1p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах P) (F1P);
- rf2n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона второй группы в водной среде (в единицах N) (F2N);
- rf2p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона второй группы в водной среде (в единицах P) (F2P);

- rf3n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона третьей группы в водной среде (в единицах N) (F3N);
- rf3p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона третьей группы в водной среде (в единицах P) (F3P);
- rz1n – 9 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах N) (Z1N);
- rz1p – 9 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах P) (Z1P);
- rz2n – 8 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона второй группы в водной среде (в единицах N) (Z2N);
- rz2p – 8 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона второй группы в водной среде (в единицах P) (Z2P);
- gmkn – 8 потоков для вычисляемой биомассы макрофитов в водной среде (в единицах N) (MKN);
- gmkp – 8 потоков для вычисляемой биомассы макрофитов в водной среде (в единицах P) (MKP);
- gcorg – 23 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического углерода в водной среде (CORG);
- rdon – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического азота в водной среде (DON);
- rnd – 22 потока для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) азота в водной среде (ND);
- rpd – 20 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) фосфора в водной среде (PD);
- rdop – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического фосфора в водной среде (DOP);
- rnh4 – 25 потоков для вычисляемой концентрации растворенного аммонийного азота в водной среде (NH₄);
- rno2 – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитритного азота в водной среде (NO₂);
- rno3 – 19 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитратного азота в водной среде (NO₃);
- rdip – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного неорганического фосфора в водной среде (DIP);
- rnf – 7 потоков для вычисляемой концентрации нефтепродуктов в водной среде (NF);
- rfnl – 7 потоков для вычисляемой концентрации фенолов в водной среде (FNL);
- ro2 – 24 потока для вычисляемой концентрации растворенного кислорода в водной среде (O₂);
- rps – 7 потоков для вычисляемой концентрации пестицидов в водной среде (PS);
- rhm – 7 потоков для вычисляемой концентрации тяжелых металлов в водной среде (HM);
- rcorgs – 4 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического углерода в осадках (CORGs);
- rnds – 4 потока для вычисляемой концентрации взвешенного азота в осадках (NDs);
- rnh4s – 5 потоков для вычисляемой концентрации аммонийного азота в осадках (NH₄s);
- rno3s – 6 потоков для вычисляемой концентрации нитратного азота в осадках (NO₃s);

- rn2 – 9 потоков для вычисляемой концентрации свободного азота в водной среде (N₂);
- rpdс – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного фосфора в осадках (PDs);
- rdips – 3 потока для вычисляемой концентрации растворенного неорганического фосфора в осадках (DIPs);
- ro2s – 4 потока для вычисляемой концентрации растворенного кислорода в осадках (O₂sed);
- rn2s – 2 потока для вычисляемой концентрации растворенного азота в осадках (N₂s);
- rf1si – 9 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах Si) (F1SI);
- rsio4 – 14 потоков для вычисляемой концентрации неорганического кремния (силикатов) в водной среде (SiO₄);
- rsid – 11 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) кремния в водной среде (SiD);
- rz1si – 5 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах Si) (Z1SI);
- rhs – 8 потоков для вычисляемой концентрации сульфидов в водной среде (HS);
- rur – 18 потоков для вычисляемой концентрации мочевины в водной среде (UR);
- rsids – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного кремния в осадках (SiDs);
- rsio4s – 3 потока для вычисляемой концентрации силикатов в осадках (SiO₄s);
- rb1si – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах Si (B1Si);
- rsiorg – 14 потоков для вычисляемой концентрации органического кремния в водной среде (SiORG).

В файл POTOК включается последовательно информация по расчетным значениям потоков веществ в исследуемых акваториях водоема, начиная с акватории 1. Начальный фрагмент файла POTOК представлен ниже:

```

1,B1C , 1, 1, 31.00, 0.000106535,
1,B1C , 2, 1, 31.00, 0.000024798,
1,B1C , 3, 1, 31.00, 0.000153601,
1,B1C , 4, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C , 5, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C , 6, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C , 7, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C , 8, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C , 9, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C ,10, 1, 31.00, 0.000000000,
1,B1C ,11, 1, 31.00, 0.000000000,
.....
.....

```

На первой строке файла первая цифра обозначает номер рассматриваемой акватории (в данном случае 1); далее следуют: переменная, для которой рассчитаны потоки (в данном случае B1C); номер ее потока (1); номер месяца, для

которого вычислен поток (1), число дней от начала года, когда заканчивается рассматриваемый месяц (в данном случае 31.00); и значение расчетного потока за этот месяц. На второй строке представлена информация для потока 2 этой переменной и т. д.

4.5. Файл SUMVAL

Файл SUMVAL содержит вычисленные для текущего момента времени значения суммарных величин концентраций P, N, Si и C для каждой исследованной акватории. Ниже приведен фрагмент файла SUMVAL для двух моментов времени (первая цифра ряда, t = 0,00 и t = 2,40 сут) для акваторий 1–5 (номер акватории показан второй цифрой ряда 1, 2, 3, 4 и 5):

0.00, 1,	0.00001,	0.00017,	0.00000,	0.00017,	0.00003,	0.00135,	0.00011,
0.00018,	0.03601,	0.00766,	0.04367,	0.00149,	0.12920,	0.32933,	0.03143,
0.36077,	3.50083,	0.15001,	1.78307,	0.78496,	2.98736,	0.19368,	2.14383,
6.48820,	0.20712,	0.00712,	0.62609,	0.41897,	0.40048,	1.02657,	
0.00, 2,	0.00001,	0.00017,	0.00000,	0.00017,	0.00003,	0.00055,	0.00011,
0.00019,	0.03300,	0.00767,	0.04068,	0.00069,	0.11667,	0.30673,	0.03065,
0.33737,	3.00061,	0.15000,	1.78296,	0.78489,	2.98720,	0.19068,	2.12033,
5.98781,	0.20856,	0.00806,	0.61683,	0.40826,	0.40031,	1.01713,	
0.00, 3,	0.00001,	0.00018,	0.00000,	0.00017,	0.00003,	0.00237,	0.00011,
0.00019,	0.03000,	0.00768,	0.03768,	0.00251,	0.10456,	0.26935,	0.03249,
0.30184,	2.50256,	0.15000,	1.78286,	0.78481,	2.98704,	0.18768,	2.08470,
5.48960,	0.21175,	0.01042,	0.60858,	0.39683,	0.40015,	1.00873,	
0.00, 4,	0.00001,	0.00018,	0.00000,	0.00017,	0.00003,	0.00136,	0.00011,
0.00019,	0.02700,	0.00768,	0.03468,	0.00151,	0.08485,	0.24941,	0.03149,
0.28089,	2.50195,	0.15000,	1.78277,	0.78474,	2.98698,	0.18468,	2.06366,
5.48893,	0.21500,	0.01305,	0.59060,	0.37560,	0.40011,	0.99071,	
0.00, 5,	0.00001,	0.00018,	0.00000,	0.00017,	0.00003,	0.00234,	0.00011,
0.00019,	0.02800,	0.00768,	0.03568,	0.00249,	0.07277,	0.23345,	0.03246,
0.26591,	2.50227,	0.15000,	1.78302,	0.78495,	2.98717,	0.18568,	2.04893,
5.48944,	0.21088,	0.00973,	0.57810,	0.36722,	0.40015,	0.97825,	
2.40, 1,	0.00001,	0.00074,	0.00000,	0.00018,	0.00003,	0.01657,	0.00010,
0.00076,	0.03630,	0.00733,	0.04363,	0.01670,	0.12096,	0.33209,	0.04503,
0.37711,	3.54155,	0.15040,	1.36440,	0.45295,	2.49773,	0.19403,	1.74151,
6.03929,	0.66886,	0.27288,	0.76359,	0.09473,	0.43063,	1.19422,	
2.40, 2,	0.00001,	0.00058,	0.00000,	0.00019,	0.00004,	0.00196,	0.00010,
0.00059,	0.03340,	0.00737,	0.04077,	0.00210,	0.12273,	0.31503,	0.03012,
0.34514,	3.01808,	0.15011,	1.36269,	0.45275,	2.49254,	0.19088,	1.70784,
5.51062,	0.80595,	0.21422,	0.81644,	0.01049,	0.42437,	1.24080,	
2.40, 3,	0.00001,	0.00041,	0.00000,	0.00019,	0.00004,	0.01145,	0.00010,
0.00043,	0.03055,	0.00739,	0.03795,	0.01159,	0.09716,	0.27498,	0.04225,
0.31723,	2.54761,	0.14987,	1.36089,	0.45214,	2.48687,	0.18781,	1.67812,
5.03449,	0.86618,	0.09377,	0.86718,	0.00099,	0.41505,	1.28223,	
2.40, 4,	0.00001,	0.00035,	0.00000,	0.00021,	0.00004,	0.00448,	0.00011,
0.00036,	0.02763,	0.00737,	0.03500,	0.00463,	0.08638,	0.25695,	0.03391,
0.29086,	2.52967,	0.14979,	1.35954,	0.45142,	2.48469,	0.18479,	1.65040,
5.01435,	0.90574,	0.07909,	0.90638,	0.00064,	0.41288,	1.31926,	
2.40, 5,	0.00001,	0.00049,	0.00000,	0.00018,	0.00003,	0.01595,	0.00010,

0.00051,	0.02847,	0.00747,	0.03594,	0.01609,	0.06455,	0.23906,	0.04701,
0.28607,	2.54974,	0.14988,	1.36286,	0.45326,	2.49085,	0.18582,	1.64893,
5.04060,	0.77860,	0.14466,	0.78150,	0.00290,	0.41170,	1.19320,	

Расчет суммарных концентраций веществ и оформление их последовательности занесения в файл выходных данных SUMVAL выполняются в процедуре BAL. В файле SUMVAL после указания момента времени и номера рассматриваемой акватории приводятся следующие суммарные значения концентраций веществ:

- sumPbac – суммарное содержание P в биомассах бактерий (sumPbac = b1p);
- sumPfit – суммарное содержание P в биомассах фитопланктона (sumPfit = F1P + F2P + F3P);
- sumPzoo – суммарное содержание P в биомассах зоопланктона (sumPzoo = Z1P + Z2P);
- sumCbac – суммарное содержание C в биомассах бактерий (sumCbac = B1C + B4C + B5C);
- sumNbac – суммарное содержание N в биомассах бактерий (sumNbac = B1N + B2N + B3N);
- sumNfit – суммарное содержание N в биомассах фитопланктона (sumNfit = F1N + F2N + F3N);
- sumNzoo – суммарное содержание N в биомассах зоопланктона (sumNzoo = Z1N + Z2N);
- sumPliv – суммарное содержание P в живом веществе (sumPliv = sumPbac + sumPfit + sumPzoo + МКР);
- sumPdis – суммарное содержание P в растворенном веществе (sumPdis = DIP + DOP);
- sumPpar – суммарное содержание P во взвешенном веществе (sumPpar = sumPliv + PD);
- totPwat – общее содержание P в водной среде (totPwat = sumPpar + sumPdis);
- sumNliv – суммарное содержание N в живом веществе (sumNliv = sumNbac + sumNfit + sumNzoo + МКН);
- sumNmin – суммарное содержание N в минеральных компонентах – аммонии, нитритах и нитратах (sumNmin = NH₄ + NO₂ + NO₃);
- simNdis – суммарное содержание N в растворенном веществе (simNdis = DON + sumNmin);
- sumNpar – суммарное содержание N во взвешенном веществе (sumNpar = sumNliv + ND);
- totNwat – общее содержание N в водной среде (totNwat = sumNpar + sumNdis);
- totCwat – общее содержание C в водной среде (totCwat = sumCbac + CORG);
- totPsed – общее содержание P в осадках (totPsed = PDs + DIPs);
- totNsed – суммарное содержание N в осадках (totNsed = NDs + NH₄s + NO₃s);
- sedNmin – содержание минерального N в осадках (sedNmin = NH₄s + NO₃s);
- totCsed – общее содержание C в осадках (totCsed = CORGs);
- totPtime – общее содержание P в данный момент времени (totPtime = totPwat + totPsed);
- totNtime – общее содержание N в данный момент времени (totNtime = totNwat + totNsed);

– totCtime – общее содержание С в данный момент времени (totCtime = totCwat + totCsed);
 – sumSipar – суммарное содержание Si во взвешенном веществе (sumSipar = F1Si + Z1Si + SiD + B1Si);
 – sumSiliv – суммарное содержание Si в живом веществе (sumSiliv = F1Si + Z1Si + B1Si);
 – totSiwat – общее содержание Si в водной среде (totSiwat = SiO₄ + sumSipar + SiORG);
 – sumSidis – суммарное содержание Si в растворенном веществе (sumSidis = SiO₄ + SiORG);
 – totSised – общее содержание Si в осадках (totSised = SiDs + SiO₄s);
 – totSitime – общее содержание Si в данный момент времени (totSitime = totSiwat + totSised).

4.6. Файлы составляющих балансов соединений P, N, C и O₂

Файлы составляющих балансов соединений P, N, C и O₂ включают накопленные на конец месяца значения составляющих балансов C, N, O₂, P в воде, донных отложениях и в целом для экосистемы каждой исследованной акватории. Расчет составляющих балансов C, N, O₂, P выполняется в процедурах DOSUMS, DOSUMS1 и DOSUMC1a, а организация расчетных характеристик в соответствующие файлы выходных данных производится в процедуре BAL.

4.6.1. Файл InpotP

Файл InpotP включает расчетные значения потоков форм P:

1. Поступление P в водную среду, рассчитываемое по следующим уравнениям:

```
bioPbac(nosect) = rb1p(nosect,5)
bioPfit(nosect) = rf1p(nosect,5) + rf2p(nosect,5) + rf3p(nosect,5)
bioPzoo(nosect) = rz1p(nosect,5) + rz2p(nosect,4)
bioPmkf(nosect) = rmkp(nosect,4)
bioPsum(nosect) = bioPfit(nosect) + bioPzoo(nosect) + bioPmkf(nosect)
partP(nosect) = rpd(nosect,12) + bioPsum(nosect) + rpd(nosect,13) + rpd(nosect,15) +
+ rpd(nosect,16)
if(dips.gt.dip) disPr(nosect) = disPr(nosect) + ko(26)*(dips-dip)*dt
disP(nosect) = rdop(nosect,16) + rdip(nosect,11) + rdop(nosect,17) + rdop(nosect,19) +
+ rdip(nosect,12) + rdip(nosect,14) + disPr(nosect)
totP(nosect) = partP(nosect) + disP(nosect)
```

2. Потери P из водной среды, рассчитываемые по следующим уравнениям:

```
obioPbac(nosect) = rb1p(nosect,6)
obioPfit(nosect) = rf1p(nosect,6) + rf2p(nosect,6) + rf3p(nosect,6)
obioPzoo(nosect) = rz1p(nosect,6) + rz2p(nosect,5)
obioPmkf(nosect) = rmkp(nosect,5)
obioPsum(nosect) = obioPbac(nosect) + obioPfit(nosect) + obioPzoo(nosect) +
+ obioPmkf(nosect)
opartP(nosect) = rpd(nosect,14) + obioPsum(nosect) + rpd(nosect,17)
if(dips.lt.dip) odisPr(nosect) = odisPr(nosect)-ko(26)*(dips-dip)*dt
odisP(nosect) = rdop(nosect,18) + rdip(nosect,13) + odisPr(nosect)
c rdip(nosect,15)
ototP(nosect) = opartP(nosect) + odisP(nosect)
```

3. Поступление P в осадки, вычисляемое по следующим уравнениям:

```
spartP(nosect) = rpds(nosect,1)
if (dips.lt.dip) sdisP(nosect) = sdisP(nosect)-ko(26)*(dips-dip)*dt
c rdips(nosect,1)
stotP(nosect) = spartP(nosect) + sdisP(nosect)
```

4. Потери P из осадков, вычисляемые по следующим уравнениям:

```
ospartP(nosect) = rpds(nosect,2)
if (dips.gt.dip) osdisP(nosect) = osdisP(nosect) + ko(26)*(dips-dip)*dt
c rdips(nosect,1)
osPconv(nosect) = rdips(nosect,4)
ostotP(nosect) = ospartP(nosect) + osdisP(nosect) + osPconv(nosect)
```

5. Поступление P в акваторию водоема, вычисляемое по уравнению:

```
vtotP(nosect) = totP(nosect) + stotP(nosect)
```

6. Потери P в акватории водоема, вычисляемые по уравнению:

```
ovtotP(nosect) = ototP(nosect) + ostotP(nosect)
```

Общее число расчетных потоков P, характеризующих его поступление и потери в водной среде и осадках, а также в целом для рассматриваемой акватории, составляет 25.

Ниже приведен фрагмент файла **InpotP** на конец первого месяца:

1, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00118,
0.01160,	0.01278,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00525,	0.00000,	0.00525,	0.00525,	0.00000,	0.00525,	0.00000,
0.00864,	0.00864,	0.01803,	0.01388,	0.00000,		
2, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00065,
0.01069,	0.01134,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00370,	0.00000,	0.00370,	0.00370,	0.00000,	0.00370,	0.00000,
0.00906,	0.00906,	0.01504,	0.01276,	0.00000,		
3, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00040,
0.01010,	0.01051,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00212,	0.00000,	0.00212,	0.00212,	0.00000,	0.00212,	0.00000,
0.00909,	0.00909,	0.01262,	0.01121,	0.00000,		
4, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00032,
0.01010,	0.01042,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00169,	0.00000,	0.00169,	0.00169,	0.00000,	0.00169,	0.00000,
0.00931,	0.00931,	0.01211,	0.01099,	0.00000,		
5, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00043,
0.01013,	0.01055,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00222,	0.00000,	0.00222,	0.00222,	0.00000,	0.00222,	0.00000,
0.00906,	0.00906,	0.01277,	0.01128,	0.00000,		

Здесь, а также в файлах InpotN, InpotC и InpotO₂ первая цифра обозначает номер исследуемой акватории, вторая цифра – номер месяца, для которого далее приведена информация по потокам форм P, третья цифра – число дней от начала года, когда происходит смена одного месяца на последующий (в данном случае смена января на февраль). Далее последовательно приведены 25 числовых значений потоков P, рассчитанных для каждой исследованной акватории водоема.

4.6.2. Файл InpotN

Файл InpotN включает расчетные значения потоков форм N:

1. Поступление N в водную среду, рассчитываемое по следующим уравнениям:

```
bioNbac(nosect) = rb1n(nosect,5) + rb2n(nosect,5) + rb3n(nosect,5)
bioNfit(nosect) = rf1n(nosect,5) + rf2n(nosect,5) + rf3n(nosect,5)
bioNzoo(nosect) = rz1n(nosect,5) + rz2n(nosect,4)
bioNmkf(nosect) = rmkn(nosect,4)
bioNsum(nosect) = bioNbac(nosect) + bioNfit(nosect) + bioNzoo(nosect) +
+ bioNmkf(nosect)
partN(nosect) = rnd(nosect,14) + bioNsum(nosect) + rnd(nosect,15) + rnd(nosect,17) +
+ rnd(nosect,18)
if (nh4s.gt.nh4) disNr1(nosect) = disNr1(nosect) + ko(20)*(nh4s-nh4)*dt
if (no3s.gt.no3) disNr2(nosect) = disNr2(nosect) + ko(23)*(no3s-no3)*dt
disN(nosect) = rdon(nosect,16) + rdon(nosect,17) + rdon(nosect,19) + rnh4(nosect,11) +
+ rnh4(nosect,14) + rnh4(nosect,12) + rno2(nosect,9) + rno2(nosect,10) +
+ rno2(nosect,12) + rno3(nosect,8) + rno3(nosect,9) + disNr1(nosect) + disnr2(nosect)
c   rnh4(nosect,15)
c   rno3(nosect,12)
if (n2s.gt.n2) gazNr1(nosect) = gazNr1(nosect) + ko(24)*(n2s-n2)*dt
c   m2(nosect,1)
if (n2atm.gt.n2) gazNr2(nosect) = gazNr2(nosect) + ko(33)*(n2atm-n2)*dt
c   m2(nosect,3)
gazN(nosect) = m2(nosect,5) + gazNr1(nosect) + gazNr2(nosect)
totN(nosect) = partn(nosect) + disn(nosect) + gazN(nosect)
```

2. Потери N из водной среды, рассчитываемые по следующим уравнениям:

```
obioNbac(nosect) = rb1n(nosect,6) + rb2n(nosect,6) + rb3n(nosect,6)
obioNfit(nosect) = rf1n(nosect,6) + rf2n(nosect,6) + rf3n(nosect,6)
obioNzoo(nosect) = rz1n(nosect,6) + rz2n(nosect,5)
obioNmkf(nosect) = rmkn(nosect,5)
obioNsum(nosect) = obioNbac(nosect) + obioNfit(nosect) + obioNzoo(nosect) +
+ obioNmkf(nosect)
opartN(nosect) = rnd(nosect,16) + obioNsum(nosect) + rnd(nosect,19)
if (nh4s.lt.nh4) odisNr1(nosect) = odisNr1(nosect)-ko(20)*(nh4s-nh4)*dt
c   rnh4(nosect,15)
if (no3s.lt.no3) odisNr2(nosect) = odisNr2(nosect)-ko(23)*(no3s-no3)*dt
c   rno3(nosect,12)
odisN(nosect) = rdon(nosect,18) + rnh4(nosect,13) + rno2(nosect,11) + rno3(nosect,10) +
+ odisNr1(nosect) + odisNr2(nosect)
if (n2s.lt.n2) ogazNr1(nosect) = ogazNr1(nosect)-ko(24)*(n2s-n2)*dt
c   m2(nosect,1)
if (n2atm.lt.n2) ogazNr2(nosect) = ogazNr2(nosect)-ko(33)*(n2atm-n2)*dt
c   m2(nosect,3)
ogazN(nosect) = m2(nosect,6) + ogazNr1(nosect) + ogazNr2(nosect)
ototN(nosect) = opartn(nosect) + odism(nosect) + ogazN(nosect)
```

3. Поступление N в седименты, вычисляемое по следующим уравнениям:

```
spartN(nosect) = rnds(nosect,1)
if (nh4s.lt.nh4) sdisn(nosect) = sdisn(nosect)-ko(20)*(nh4s-nh4)*dt
c   rnh4s(nosect,2)
if (no3s.lt.no3) sdisN(nosect) = sdisN(nosect)-ko(23)*(no3s-no3)*dt
c   rno3s(nosect,1)
```

```
if (n2s.lt.n2) sgazN(nosect) = sgazN(nosect)-ko(24)*(n2s-n2)*dt
c   rn2s(nosect,1)
stotN(nosect) = spartn(nosect) + sdisn(nosect) + sgazN(nosect)
```

4. Потери N из седиментов, вычисляемые по следующим уравнениям:

```
ospartN(nosect) = rnds(nosect,3)
if (nh4s.gt.nh4) osdisn(nosect) = osdisn(nosect) + ko(20)*(nh4s-nh4)*dt
c   rnh4s(nosect,2)
if (no3s.gt.no3) osdisN(nosect) = osdisN(nosect) + ko(23)*(no3s-no3)*dt
c   rno3s(nosect,1)
if (n2s.gt.n2) osgazN(nosect) = osgazN(nosect) + ko(24)*(n2s-n2)*dt
c   rn2s(nosect,1)
osNconv(nosect) = rnh4s(nosect,3) + rnh4s(nosect,6) + rno3s(nosect,3) +
+ rno3s(nosect,5) + rno3s(nosect,6)
ostotN(nosect) = ospartn(nosect) + osdisn(nosect) + osgazN(nosect) + osNconv(nosect)
```

5. Поступление N в акваторию водоема, вычисляемое по уравнению:

```
vtotN(nosect) = totN(nosect) + stotN(nosect)
```

6. Потери N в акватории водоема, вычисляемые по уравнению:

```
ovtotN(nosect) = ototN(nosect) + ostotN(nosect)
```

Таким образом, общее число расчетных потоков N, характеризующих его поступление и потери в водной среде и седиментах, а также в целом для рассматриваемой акватории, составляет 29.

Фрагмент файла **InpotN** на конец первого месяца имеет вид:

1, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.01183,
0.09582,	17.14209,	17.24974,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00000,	0.04328,	0.00000,	3.20237,	3.24564,	0.04328,	0.00000,
3.20237,	3.24564,	0.00000,	0.01773,	0.00000,	0.01773,	20.49538,
3.26338,	0.00000,					
2, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00652,
0.06039,	17.01651,	17.08341,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00000,	0.01784,	0.00000,	3.21693,	3.23478,	0.01784,	0.00000,
3.21693,	3.23478,	0.00000,	0.01736,	0.00000,	0.01736,	20.31819,
3.25214,	0.00000,					
3, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00405,
0.04711,	17.14475,	17.19591,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00000,	0.01550,	0.00000,	3.20710,	3.22260,	0.01550,	0.00000,
3.20710,	3.22260,	0.00000,	0.02041,	0.00000,	0.02041,	20.41851,
3.24301,	0.00000,					
4, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00318,
0.04142,	17.14605,	17.19065,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00000,	0.00939,	0.00000,	3.20946,	3.21885,	0.00939,	0.00000,
3.20946,	3.21885,	0.00000,	0.02044,	0.00000,	0.02044,	20.40950,
3.23929,	0.00000,					
5, 1, 31.00,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00426,
0.05041,	17.14209,	17.19675,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,
0.00000,	0.01760,	0.00000,	3.20237,	3.21997,	0.01760,	0.00000,
3.20237,	3.21997,	0.00000,	0.02229,	0.00000,	0.02229,	20.41673,
3.24226,	0.00000,					

После первых трех цифр (номер акватории, номер месяца, число дней года, когда заканчивается месяц) в файле последовательно представлены для каждой акватории 29 потоков форм N, по которым составляется баланс форм N в водной среде, седиментах и в целом для исследуемой акватории.

4.6.3. Файл InpotC

Файл InpotC включает следующие расчетные значения потоков форм C:

1. *Поступление C в водную среду*, рассчитываемое по следующим уравнениям:

```
bioCbac(nosect) = rb1c(nosect,4) + rb4c(nosect,4) + rb5c(nosect,4)
if (corgs.gt.corg) disCr(nosect) = disCr(nosect) + ko(32)*(corgs-corg)*dt
c   rcorg(nosect,16)
disC(nosect) = rcorg(nosect,11) + rcorg(nosect,14) + rcorg(nosect,13) +
+ disCr(nosect)
totC(nosect) = bioCbac(nosect) + disC(nosect)
```

2. *Потери C из водной среды*, рассчитываемые по следующим уравнениям:

```
obioCbac(nosect) = rb1c(nosect,5) + rb4c(nosect,5) + rb5c(nosect,5)
if (corgs.lt.corg) odisCr(nosect) = odisCr(nosect)-ko(32)*(corgs-corg)*dt
c   rcorg(nosect,16)
odisC(nosect) = rcorg(nosect,12) + odisCr(nosect)
c   oCconv(nosect) = rcorg(nosect,3) + rcorg(nosect,4) + rcorg(nosect,5)
ototC(nosect) = obioCbac(nosect) + odisC(nosect)
c   x +oCconv(nosect)
```

3. *Поступление C в седименты*, вычисляемое по следующим уравнениям:

```
if (corgs.lt.corg) sdisC(nosect) = sdisC(nosect)-ko(32)*(corgs-corg)*dt
c   rcorgs(nosect,1)
sCconv(nosect) = rcorgs(nosect,2)
```

4. *Потери C из седиментов*, вычисляемые по следующим уравнениям:

```
if (corgs.gt.corg) osdisC(nosect) = osdisC(nosect) + ko(32)*(corgs-corg)*dt
c   rcorgs(nosect,1)
osCconv(nosect) = rcorgs(nosect,3) + rcorgs(nosect,4)
```

5. *Поступление C в акваторию водоема*, вычисляемое по уравнению:

```
vtotC(nosect) = disC(nosect) + sdisC(nosect) + sCconv(nosect)
```

6. *Потери C в акватории водоема*, вычисляемые по уравнению:

```
ovtotC(nosect) = ototC(nosect) + osdisC(nosect) + osCconv(nosect)
```

Общее число расчетных потоков C, характеризующих его поступление и потери в водной среде, седиментах и в целом в рассматриваемой акватории, составляет 13.

Далее представляем фрагмент файла **InpotC** для акваторий 1–5 на конец первого месяца:

```
1, 1, 31.00, 0.00000, 0.23663, 0.23663, 0.00000, 0.24546, 0.24546,
0.24546, 0.00000, 1.19440, 3.26234, 0.00000, 0.71231, 3.01688,
```

```
2, 1, 31.00, 0.00000, 0.16143, 0.16143, 0.00000, 0.18305, 0.18305,
0.18305, 0.00000, 1.05205, 3.14852, 0.00000, 0.70757, 2.96547,
3, 1, 31.00, 0.00000, 0.08273, 0.08273, 0.00000, 0.13016, 0.13016,
0.13016, 0.00182, 0.91541, 3.06019, 0.00000, 0.70252, 2.92821,
4, 1, 31.00, 0.00000, 0.09658, 0.09658, 0.00000, 0.12788, 0.12788,
0.12788, 0.00195, 0.92564, 3.05975, 0.00000, 0.70118, 2.92993,
5, 1, 31.00, 0.00000, 0.08703, 0.08703, 0.00000, 0.13012, 0.13012,
0.13012, 0.00182, 0.91894, 3.05520, 0.00000, 0.70179, 2.92325,
```

Как и в случае потоков P и N, **первые три цифры обозначают номера исследуемой акватории, месяца и дня с начала года, когда заканчивается рассматриваемый месяц.** Далее в этом файле последовательно представлены для акваторий 1–5 расчетные значения 13 потоков форм C, по которым в данной модели составляется баланс этого элемента в водной среде, седиментах и в целом для исследуемой акватории.

4.6.4. Файл InpotO₂

Файл InpotO₂ включает следующие расчетные значения потоков растворенного в воде O₂:

1. *Поступление O₂ в водную среду*, рассчитываемое по следующим уравнениям:

```
if (O2s.gt.o2) disO2r1(nosect) = disO2r1(nosect)-ko(14)*(o2-o2s)*dt
c   rO2(nosect,1)
if (O2sed.gt.o2) disO2r2(nosect) = disO2r2(nosect) + ko(30)*(o2sed-o2)*dt
c   rO2(nosect,18)
disO2(nosect) = ro2(nosect,12) + disO2r1(nosect) + disO2r2(nosect)
do 102 il = 14,17
102   O2conv(nosect) = O2conv(nosect) + ro2(nosect,il)
totO2(nosect) = disO2(nosect) + O2conv(nosect)
```

2. *Потери O₂ из водной среды*, рассчитываемые по следующим уравнениям:

```
if (O2s.lt.o2) odisO2r1(nosect) = odisO2r1(nosect) + ko(14)*(o2-o2s)*dt
c   rO2(nosect,1)
if (O2sed.lt.o2) odisO2r2(nosect) = odisO2r2(nosect)-ko(30)*(o2sed-o2)*dt
c   rO2(nosect,18)
odisO2(nosect) = ro2(nosect,13) + odisO2r1(nosect) + odisO2r2(nosect)
oO2conv(nosect) = 0.0
do 101 il = 2,11
101   oO2conv(nosect) = oO2conv(nosect) + ro2(nosect,il)
ototO2(nosect) = odisO2(nosect) + oO2conv(nosect)
```

3. *Поступление O₂ в седименты*, вычисляемое по следующим уравнениям:

```
if (O2sed.lt.o2) sdisO2(nosect) = sdisO2(nosect)-ko(30)*(o2sed-o2)*dt
c   rO2sed(nosect,1)
```

4. *Потери O₂ из седиментов*, вычисляемые по следующим уравнениям:

```
if (O2sed.gt.o2) osdisO2(nosect) = osdisO2(nosect) + ko(30)*(o2sed-o2)*dt
c   rO2sed(nosect,1)
osO2conv(nosect) = rO2sed(nosect,3) + rO2sed(nosect,4)
ostotO2(nosect) = osdisO2(nosect) + osO2conv(nosect) + rO2sed(nosect,2)
```

5. Поступление O_2 в акваторию водоема, вычисляемое по уравнению:

$$\text{vtotO2}(\text{nosect}) = \text{totO2}(\text{nosect}) + \text{sdisO2}(\text{nosect})$$

6. Потери O_2 в акватории водоема, вычисляемые по уравнению:

$$\text{ovtotO2}(\text{nosect}) = \text{ototO2}(\text{nosect}) + \text{ostotO2}(\text{nosect})$$

Общее число потоков O_2 , рассчитываемых для характеристики его поступления и потерь в водной среде и седиментах, а также в целом для рассматриваемой акватории, составляет 13.

Фрагмент файла **InpotO₂** для акваторий 1–5 на конец первого месяца выглядит так:

1, 1, 31.00,	2.88347,	0.00000,	2.88347,	2.13916,	0.00965,	2.14882,
2.13916,	0.00000,	1.21244,	4.86687,	5.02263,	7.01568,	
2, 1, 31.00,	3.82892,	0.00000,	3.82892,	1.98008,	0.00281,	1.98289,
1.98008,	0.00000,	1.20719,	4.80421,	5.80900,	6.78710,	
3, 1, 31.00,	3.90396,	0.00000,	3.90396,	1.95739,	0.01214,	1.96953,
1.95739,	0.00000,	1.20019,	4.77408,	5.86135,	6.74361,	
4, 1, 31.00,	3.85584,	0.00000,	3.85584,	1.96832,	0.00632,	1.97464,
1.96832,	0.00000,	1.19976,	4.78270,	5.82416,	6.75734,	
5, 1, 31.00,	3.95317,	0.00000,	3.95317,	1.94395,	0.01217,	1.95613,
1.94395,	0.00000,	1.19888,	4.75965,	5.89712,	6.71578,	

Как и в случае потоков P, N и C, первые три цифры обозначают номера исследуемой акватории, месяца и дня с начала года, когда заканчивается рассматриваемый месяц. Далее в файле InpotO₂ последовательно представлены для акваторий 1–5 расчетные значения 13 потоков форм O_2 , которые использованы для составления его баланса в водной среде, седиментах и в целом в исследуемой акватории.

Отметим, что Файлы InpotP, InpotN, InpotC и InpotO₂ используются при оперативном анализе результатов моделирования путем визуального их просмотра сразу после завершения расчетов. Вход в эти файлы осуществляется через меню программы (раздел Балансы).

4.7. Файл OUT

Файл OUT содержит значения исходных данных модели и всех рассчитываемых в модели величин параметров. Все характеристики выдаются на печать в соответствии с заданным режимом накопления информации в начальный момент, а в последующие сроки – в соответствии с заданным временным шагом на запись расчетной информации в файле OUT (режим накопления информации и периодичность ее записи в файле OUT задаются во входных данных в файле TIMES).

Выходные данные моделирования, содержащиеся в файлах PLOT1...PLOT10, PROD, PLOTTRN, ПОТОК, при обработке результатов расчетов могут быть получены в виде графиков. При построении графиков изменения во времени концентраций веществ и биомасс гидробионтов можно менять временную дискретность (частоту) учета расчетных параметров, чтобы разрядить плотность файлов расчетных значений, по которым строятся графики.

Для уже исследованных водных объектов рекомендуется пользователю создать базу расчетных данных для использованного набора входной информации. При ее изменении пользователь может получить новый набор расчетных данных, который можно сравнивать с ранее полученными расчетными данными для выявления каких-либо тенденций или закономерностей изменчивости характеристик состояния водной среды (в зависимости от используемой входной информации и от целей исследований).

Вопросы для закрепления материала

1. В какой директории собираются файлы, содержащие информацию по результатам расчетов?
2. Какие файлы расчетной информации включены в директорию MODELRES?
3. Какой период времени (сутки, неделя, месяц, сезон, год) может изучаться с помощью CNPSi-модели?
4. Какая расчетная информация включается в файлы PLOT1...PLOT10?
5. Какая расчетная информация включается в файл PROD?
6. Какая расчетная информация включается в файл PLOTTRN?
7. Какая расчетная информация включается в файл ПОТОК?
8. Какая расчетная информация включается в файл SUMVAL?
9. Какая расчетная информация включается в файлы составляющих балансов соединений P, N, C, и O_2 ?
10. Какая расчетная информация включается в файл OUT?

ГЛАВА 5

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ²

Появление нового программного обеспечения требует адаптации имеющихся программ, созданных в более ранних версиях и применяемых для расчетов динамики концентраций биогенных веществ (БВ) и биомасс микроорганизмов, под новые операционные системы. Эти усовершенствования необходимы для сохранения возможности практической эксплуатации и корректной работы созданных ранее моделей, направления и спектр использования которых существенно улучшается при введении в них более совершенных современных прикладных пакетов обработки информации.

Цель подготовки данного раздела – создание руководства для работы с гидроэкологической моделью трансформации органических соединений биогенных элементов (CNPSi-модель), в которой система отображения результатов моделирования была усовершенствована и адаптирована для среды *WINDOWS XP*. Эта система отображения для CNPSi-модели была разработана кандидатом физико-математических наук Ю. Ю. Никоновым (СахНИРО, 2007 г.). Интерфейс этой системы позволяет обращаться к базам данных, которые создаются в процессе проигрывания модели в более ранней ее версии, созданной под операционную систему *DOS*.

В данном руководстве прописана последовательность операций для установки CNPSi-модели и ее запуска для выполнения расчетов на PC, а также даны рекомендации по настройке связей с базами данных (DB) (раздел 5.1), описана процедура вызова базы данных DB, которая создается при запуске CNPSi-модели для исследуемого водоема или его акваторий (в системе отображения для экономии отведенного для надписи пространства вместо термина «водоем» использован его синоним – термин «пруд»³) (раздел 5.2), приведены примеры построения графиков для расчетных параметров (раздел 5.3).

5.1. Установка обновленной системы отображения результатов моделирования

Для того чтобы установить обновленную систему отображения результатов моделирования на свой компьютер, необходимо запустить исполняемый файл **Setup.exe**, который обеспечит установку Приложения для возможного отображения результатов расчетов на CNPSi-модели с помощью системы, адапти-

² Автор признателен О. М. Зарипову (СахГУ) за помощь в подготовке этой главы.

³ Синонимами используемого в системе отображения термина «пруд» служат термины «водоем» и «акватория». Поэтому следует помнить, что во всех случаях, где в системе использован термин «пруд», речь идет либо о конкретно изучаемом водоеме (или о нескольких водоемах), либо об отдельных акваториях одного изучаемого водно-объекта, на которые он условно подразделен.

рованной для среды *Windows XP*. Файл **Setup.exe** находится в папке, предварительно организованной на диске *C:\Никонов_модель\install* (рис. 5.1).

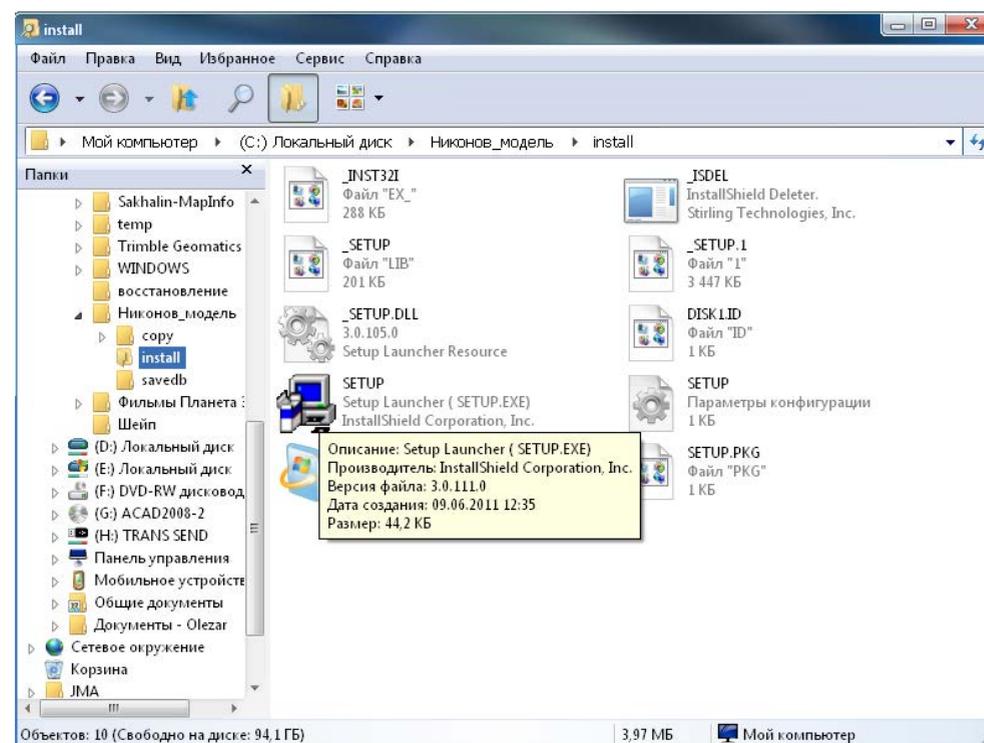


Рис. 5.1. Вид папки с файлами для запуска инсталляции модели (системы отображения результатов моделирования)

После запуска файла **Setup.exe** появится диалоговое окно установки Приложения. Далее необходимо следовать инструкциям, которые появляются в диалоговом окне: пользователю предложено подтвердить начало установки (нажать кнопку «далее»), в следующем диалоговом окне будет предоставлена информация о каталоге жесткого диска, на котором будет установлена программа (как правило, мастер установки выполняет инсталляцию на жесткий диск, на котором установлена операционная система). В директории **Program Files** (на диске C) в папке «**ForModel**» будут находиться все файлы программы, используемые для графического отображения результатов моделирования. Далее для запуска модели необходимо активировать новый значок **Model**, который находится в папке (*C:\Никонов_модель*) (рис. 5.2).

Для работы с моделью следует указать путь к базе данных DB, в которой находятся результаты расчетов для построения графиков. Эта база создается в модели, реализуемой с помощью операционной системы *DOS* [Леонов, 2008], затем используется усовершенствованной системой отображения результатов моделирования в среде *Windows XP*.

Для того чтобы соединить запущенную CNPSi-модель с базой данных, необходимо выполнить последовательно несколько операций. В верхней части

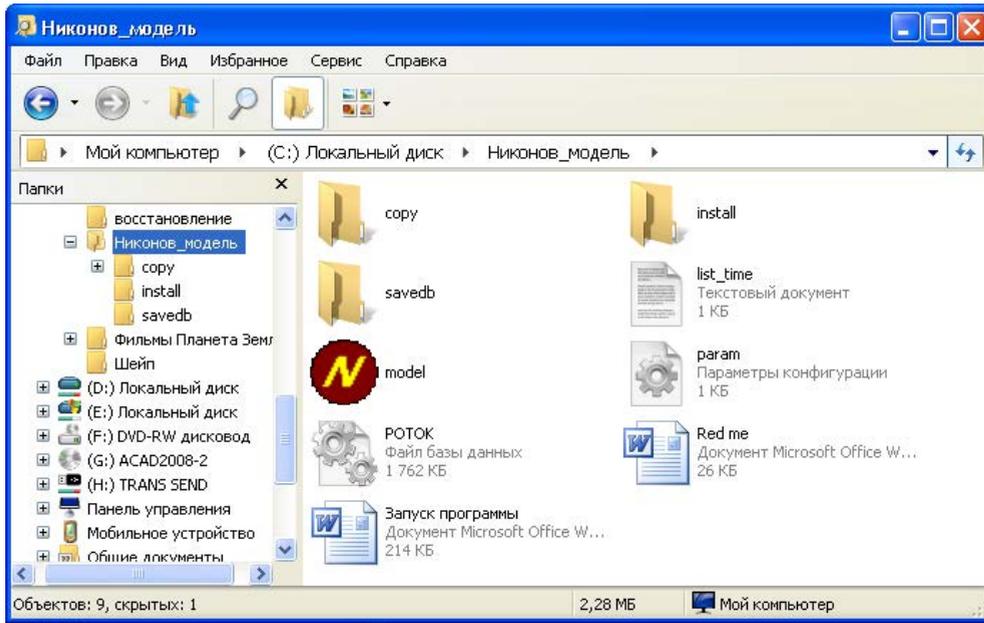


Рис. 5.2. Вид папки с установленной моделью

окна программы следует нажать на кнопку «Соединиться с БД» (рис. 5.3). В появившемся окне указать путь к местоположению файла базы данных – SECTNUMB.DB, который находится в папке (C:\ohotsk\DB) (при повторных запусках модели это соединение будет происходить автоматически). Далее

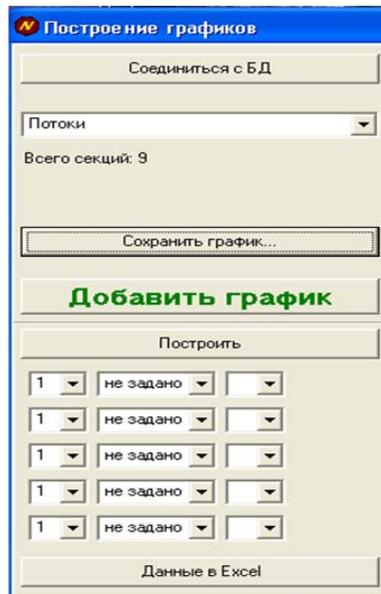


Рис. 5.3. Фрагмент рабочего окна программы

программа попросит указать путь к файлу PLOTTRN.txt (обычно он находится на диске C:\ohotsk\MODELREZ\). Соединение с ним также происходит автоматически при повторных запусках рассматриваемой системы отображения.

Следует обратить внимание на то, что данные диалоги не всегда открываются «поверх» других окон и иногда они могут «заслоняться» другими Приложениями. Если вы не видите этих диалогов и программа не открывается, попробуйте свернуть другие рабочие программы. После прочтения программой файла БД, в окне появится надпись «Всего секций», которая покажет количество найденных «водоемов».

После выполнения описанных выше операций, CNPSi-модель готова к работе. Теперь построение графиков становится возможным при последовательном выборе номера «пруда» (колонка 1), исследуемой переменной (колонка 2) и временной дискретности представления расчетных данных (колонка 3) из всплывающих списков (рис. 5.3).

Количество исследуемых «прудов» может меняться в расчетах от одного до десяти.

В число исследуемых **ПЕРЕМЕННЫХ** включены концентрации следующих гидрохимических параметров водной среды:

- DOP – растворенный органический P;
- DON – растворенный органический N;
- CORG – растворенный органический C;
- DIP – растворенный неорганический P (ортофосфат);
- NH₄ – N аммония;
- NO₂ – N нитритов;
- NO₃ – N нитратов;
- UR – N в мочевины;
- SiO₄ – растворенный неорганический Si;
- PD – содержание P в детрите;
- ND – содержание N в детрите;
- SiD – содержание Si в детрите;
- SiORG – растворенный органический Si;
- N₂ – растворенный в воде свободный N;
- O₂ – растворенный в воде O₂.

К компонентам соединений биогенных элементов относятся и их фракции в верхнем слое донных отложений, непосредственно контактирующих с придонными водами: взвешенные соединения P, N и Si (соответственно PDs, NDs и SiDs), растворенный органический C (CORGs), минеральные компоненты N (NH₄s и NO₃s), P (DIPs) и Si (SiO₄s), а также растворенные газы (O₂sed и N₂s).

В блок **ПЕРЕМЕННЫЕ** включены и биологические компоненты CNPSi-модели – биомассы представителей сообщества водных микроорганизмов. К ним относятся:

- гетеротрофные бактерии B1, биомасса которых вычисляется в единицах C (B1C), N (B1N), P (B1P) и Si (B1Si);
- NH₄-окисляющие бактерии (группы *Nitrosomonas*) B2, биомасса которых вычисляется в единицах N (B2N);
- NO₂-окисляющие бактерии (группы *Nitrobacter*) B3, биомасса которых вычисляется в единицах N (B3N);
- нефтеокисляющие бактерии B4, биомасса которых вычисляется в единицах C (B4C);
- фенолоксиляющие бактерии B5, биомасса которых вычисляется в единицах C (B5C);
- первая доминирующая группа фитопланктона (обычно диатомовые водоросли), их биомасса вычисляется в единицах Si (F1Si), N (F1N) и P (F1P);
- вторая доминирующая группа фитопланктона, их биомасса вычисляется в единицах N (F2N) и P (F2P);
- третья доминирующая группа фитопланктона, их биомасса вычисляется в единицах N (F3N) и P (F3P);
- первая группа – растительный зоопланктон, его биомасса вычисляется в единицах Si (Z1Si), N (Z1N) и P (Z1P);
- вторая группа – хищный зоопланктон, его биомасса вычисляется в единицах N (Z2N) и P (Z2P);
- высшая водная растительность (макрофиты), их биомасса вычисляется в единицах N (MKN) и P (MKP).

Концентрации химических и биологических компонентов модели вычисляются в мг Элемента/л (то есть в единицах органогенных элементов C, N, P и Si), а растворенного O₂ – в мг O₂/л.

Временная дискретность отражения на графиках результатов расчетов концентраций химических компонентов и биомасс гидробионтов может регулироваться задаваемыми цифрами 2, 3, 4, 5 (или > 5) в столбце 3 (рис. 5.3). Эти цифры означают, что из файлов DB, в которых сохраняются результаты расчетов для заданных временных массивов переменных, при графировании будет использовано соответственно каждое 2-е, 3-е, 4-е, 5-е (или > 5) расчетное значение параметра, чтобы «разрядить» общий график изменения во времени его концентрации из-за очень «плотного» расположения на графиках его расчетных значений.

5.2. Создание базы данных DB

Важным аспектом системы отображения результатов моделирования является то, что она предназначена только для графической визуализации полученных расчетных данных для исследуемых акваторий. Поэтому каждому пользователю модели необходимо знать, как выполнить расчеты на CNPSi-модели для изучаемых акваторий, в результате которых будет создана новая база расчетных данных, показывающих изменения во времени расчетных характеристик – концентраций соединений биогенных элементов (БЭ) и биомасс гидробионтов в зависимости от характера изменения в течение года параметров окружающей среды (температура, освещенность, прозрачность водной среды, биогенная нагрузка и другие показатели). Ниже приведена инструкция по подготовке файлов входных данных для расчетов и запуска CNPSi-модели.

Прежде всего необходимо перед запуском CNPSi-модели внести соответствующие изменения во входные данные, чтобы скорректировать параметры среды обитания для изучаемой акватории в файлах: TIMES, CONSTANTS, C_month, Dep1_V, WAT, TEMP2, Q1...Q10, PHYS1...PHYS10, CONC1...CONC10 и WIND1...WIND10, которые характеризуют состояние среды выбранной для изучения акватории (глава 3). Изменения можно вносить в файлы, находящиеся непосредственно в папке C:\Ohotsk\DATA, или в файлы, хранящиеся в других директориях (в последнем случае перед запуском модели эти файлы необходимо скопировать для обновления содержащейся информации в файлах директории C:\Ohotsk\DATA) (рис. 5.4).

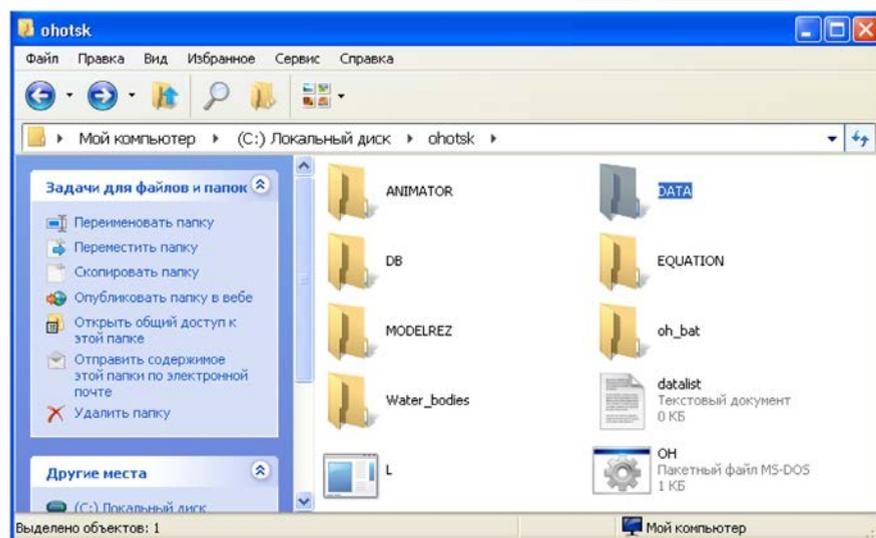


Рис. 5.4. Вид каталога, в котором находится папка DATA

После замены входных данных следует открыть заставку CNPSi-модели с помощью файла **OH.bat** [Леонов, 2008], находящегося в директории на диске D. Далее открывается заставка CNPSi-модели. Чтобы войти в нее, следует ввести

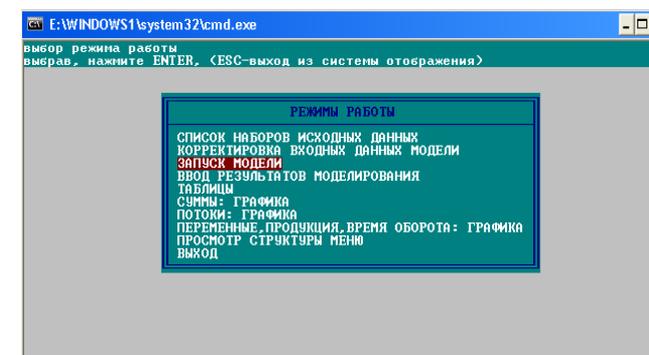


Рис. 5.5. Вид главного меню модели с активированной командой «Запуск модели»

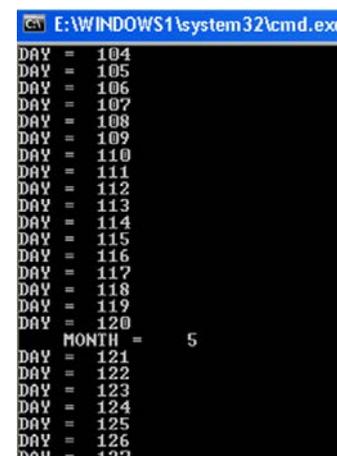


Рис. 5.6. Фрагмент экрана при выполнении расчетов

пароль «**PONDS**» и в открывшемся окне «**Режим работы**» выбрать команду «**Запуск модели**» для выполнения расчета на модели (рис. 5.5).

При отсутствии ошибок во входных файлах модель начнет выполнять расчеты (рис. 5.6), при наличии ошибок на экране появится строка с текстом, где будет указана строка файла, в котором имеется ошибка в набивке цифровых значений параметров среды.

Выполнение расчетов на CNPSi-модели может занять несколько минут, продолжительность расчетов для годового периода зависит от количества заданных акваторий (прудов, водоемов), для которых следует выполнить расчет. При выполнении расчетов на экране непрерывно появляются с начала года цифры порядковых номеров месяца (от одного до двенадцати) и дня года внутри каждого месяца, расчет завершается при появлении цифры 365 (общее число дней в году). По окончании расчетов появляется на экране надпись «**Расчет завершен**» и необходимо нажать любую клавишу для появления команды, означающей, что «**Процедура расчета завершена**».

Далее необходимо ввести результаты моделирования в систему отображения и последующего графирования полученной цифровой информации. Это производится с помощью курсора со строки «**Ввод результатов моделирования**» в общем меню системы отображения (рис. 5.7).

При нажатии курсора появляется заставка, на которой высвечивается вопрос к пользователю: он должен указать «**Количество прудов**», для которых был выполнен расчет. Пользователь должен поставить цифру (от одного до десяти): цифра показывает число акваторий, для которых был выполнен расчет; затем следует нажать функциональную клавишу «**F2**», чтобы ввести всю полученную информацию в систему отображения. На заставке указаны все действия

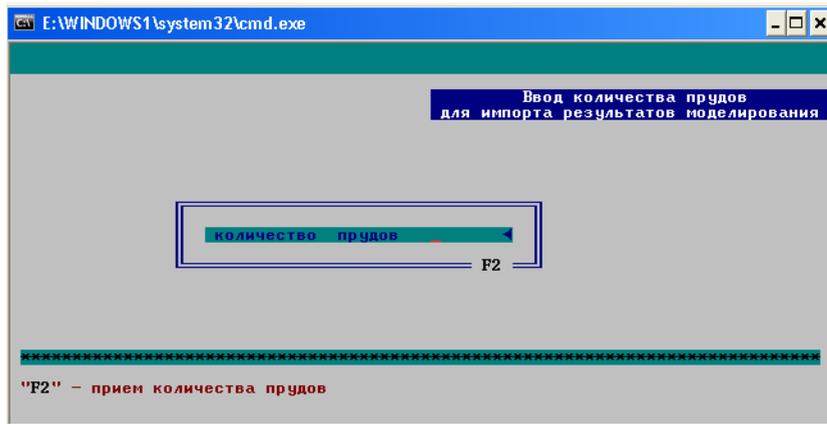


Рис. 5.7. Вид экрана при вводе количества «прудов» для импорта результатов моделирования

пользователя, чтобы ему легче было ориентироваться в том, какие команды ему следует нажимать. Количество изучаемых акваторий, которое использовалось для выполненного только что расчета, задается во входных данных в файле «TIMES», находящемся в папке D:\ohotsk\DATA (его можно открыть с помощью программы «БЛОКНОТ»). Строка файла «TIMES» со словами «sect = 5.0» указывает число акваторий (или «прудов»), для которых был выполнен расчет.

По завершении расчетов необходимо снова войти в CNPSi-модель и подключиться к новой базе данных (раздел 5.1). После ввода результатов моделирования в систему отображения можно переходить к построению графиков, показывающих изменения во времени расчетных параметров (раздел 5.3).

5.3. Процедура построения графиков

После ввода результатов моделирования (расчетов, выполненных на CNPSi-модели) в систему графирования и отображения, адаптированную под Windows XP, становится возможным получение наглядных иллюстраций для демонстрации изменений расчетных данных (в виде графиков и диаграмм) в более удобной среде приложения (Excel) с использованием всех его возможностей. Параллельно с построением графиков данная система строит также цифровой ряд данных, извлекаемых из файла MODELRES, для обеспечения возможности построения таблиц и проверки расчетных параметров.

В зависимости от выбранного блока параметров в верхнем окне модели – «ПЕРЕМЕННАЯ», «СУММЫ», «ПОТОКИ», «ПРОДУКЦИЯ», «ВРЕМЯ ОБОРОТА», «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ» – включается определенный режим построения графиков (рис. 5.8). Перечень компонентов блока «ПЕРЕМЕННАЯ» показан в разделе 5.

В блоке «СУММЫ» скомпонованы агрегированные значения вычисляемых компонентов биогенных веществ (БВ). Перечислим набор суммарных концентраций отдельных ингредиентов органических веществ, которые можно графировать.

Для концентраций форм P этот перечень включает:

– sumPbac – суммарное содержание P в биомассах бактерий ($\text{sumPbac} = B1P$);

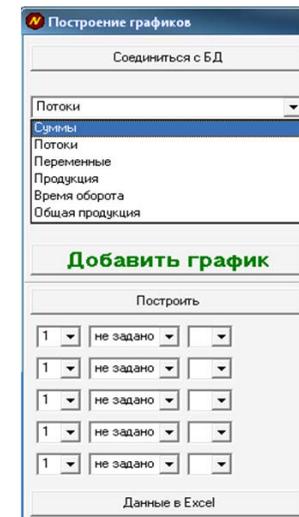


Рис. 5.8. Вид программы отображения результатов моделирования с раскрытым списком параметров

– sumNfit – суммарное содержание N в биомассах фитопланктона ($\text{sumNfit} = F1N + F2N + F3N$);

– sumNzoo – суммарное содержание N в биомассах зоопланктона ($\text{sumNzoo} = Z1N + Z2N$);

– sumNliv – суммарное содержание N в живом веществе ($\text{sumNliv} = \text{sumNbac} + \text{sumNfit} + \text{sumNzoo} + \text{MKN}$);

– sumNmin – суммарное содержание N в минеральных компонентах – аммонии, нитритах и нитратах ($\text{sumNmin} = \text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$);

– sumNdis – суммарное содержание N в растворенном веществе ($\text{sumNdis} = \text{DON} + \text{sumNmin} + \text{UR}$);

– sumNpar – суммарное содержание N во взвешенном веществе ($\text{sumNpar} = \text{sumNliv} + \text{ND}$);

– totNwat – общее содержание N в водной среде ($\text{totNwat} = \text{sumNpar} + \text{sumNdis}$);

– totNsed – суммарное содержание N в осадках ($\text{totNsed} = \text{ND}_s + \text{NH}_4 + \text{NO}_3$);

– sedNmin – содержание минерального N в осадках ($\text{sedNmin} = \text{NH}_4 + \text{NO}_3$);

– totN – общее содержание N в данный момент времени ($\text{totN} = \text{totNwat} + \text{totNsed}$).

Для концентраций форм Si этот перечень включает следующие компоненты:

– sumSipar – суммарное содержание Si во взвешенном веществе ($\text{sumSipar} = F1Si + Z1Si + SiD + N1Si$);

– sumSiliv – суммарное содержание Si в живом веществе ($\text{sumSiliv} = F_{1Si} + Z_{1Si} + B_{1Si}$);

– totSiwat – общее содержание Si в водной среде ($\text{totSiwat} = \text{SiO}_4 + \text{sumSipar} + \text{SiORG}$);

– sumPfit – суммарное содержание P в биомассах фитопланктона ($\text{sumPfit} = F1P + F2P + F3P$);

– sumPzoo – суммарное содержание P в биомассах зоопланктона ($\text{sumPzoo} = Z1P + Z2P$);

– sumPliv – суммарное содержание P в живом веществе ($\text{sumPliv} = \text{sumPbac} + \text{sumPfit} + \text{sumPzoo} + \text{MKP}$);

– sumPdis – суммарное содержание P в растворенном веществе ($\text{sumPdis} = \text{DIP} + \text{DOP}$);

– sumPpar – суммарное содержание P во взвешенном веществе ($\text{sumPpar} = \text{sumPliv} + \text{PD}$);

– totPwat – общее содержание P в водной среде ($\text{totPwat} = \text{sumPpar} + \text{sumPdis}$);

– totPsed – общее содержание P в осадках ($\text{totPsed} = \text{PD}_s + \text{DIP}_s$);

– totP – общее содержание P в данный момент времени ($\text{totP} = \text{totPwat} + \text{totPsed}$).

Для концентраций форм N этот перечень включает следующие компоненты:

– sumNbac – суммарное содержание N в биомассах бактерий ($\text{sumNbac} = B1N + B2N + B3N$);

– sumNfit – суммарное содержание N в биомассах фитопланктона ($\text{sumNfit} = F1N + F2N + F3N$);

- sumSidis – суммарное содержание Si в растворенном веществе ($\text{sumSidis} = \text{SiO}_4 + \text{SiORG}$);
- totSised – общее содержание Si в осадках ($\text{totSised} = \text{SiDS} + \text{SiIO}_4\text{s}$);
- totSi – общее содержание Si в данный момент времени ($\text{totSi} = \text{totSiwat} + \text{totSised}$).

Для концентраций форм C этот перечень включает следующие компоненты:

- sumCbac – суммарное содержание C в биомассах бактерий ($\text{sumCbac} = \text{B1C} + \text{B4C} + \text{B5C}$);
- totCwat – общее содержание C в водной среде ($\text{totCwat} = \text{sumCbac} + \text{CORG}$);
- totCsed – общее содержание C в осадках ($\text{totCsed} = \text{CORGs}$);
- totC – общее содержание C в данный момент времени ($\text{totC} = \text{totCwat} + \text{totCsed}$).

В блоке «ПОТОКИ» представлены расчетные значения потоков всех переменных модели. Их количество для каждой переменной зависит от числа членов в правой части уравнений, описывающих изменения концентраций веществ за единицу времени [Леонов, 2008].

В целом в CNPSi-модели предусмотрен расчет всех внутренних и внешних потоков, определяющих возможные изменения концентраций рассматриваемых переменных. Общее число потоков для всех переменных >500. Ниже мы укажем лишь общее их количество для каждой переменной, для которых выполняются вычисления в CNPSi-модели. Для обозначения потока перед каждой переменной ставится буква «г»:

- **gb1c** – включает 10 потоков, учитываемых для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах C (B1C);
- gb1n – 11 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах N (B1N);
- gb1p – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах P (B1P);
- gb2n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NH_4 -окисляющих бактерий (*Nitrosomonas*) в водной среде в единицах N (B2N);
- gb3n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NO_2 -окисляющих бактерий (*Nitrobacter*) в водной среде в единицах N (B3N);
- gb4c – 8 потоков для вычисляемой биомассы нефтеокисляющих бактерий в водной среде (в единицах C) (B4C);
- gb5c – 8 потоков для вычисляемой биомассы фенолоксиляющих бактерий в водной среде (в единицах C) (B5C);
- gf1n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах N) (F1N);
- gf1p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах P) (F1P);
- gf2n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона второй группы в водной среде (в единицах N) (F2N);
- gf2p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона второй группы в водной среде (в единицах P) (F2P);
- gf3n – 11 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона третьей группы в водной среде (в единицах N) (F3N);
- gf3p – 10 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона третьей группы в водной среде (в единицах P) (F3P);

- rz1n – 9 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах N) (Z1N);
- rz1p – 9 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах P) (Z1P);
- rz2n – 8 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона второй группы в водной среде (в единицах N) (Z2N);
- rz2p – 8 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона второй группы в водной среде (в единицах P) (Z2P);
- gmkn – 8 потоков для вычисляемой биомассы макрофитов в водной среде (в единицах N) (MKN);
- gmkp – 8 потоков для вычисляемой биомассы макрофитов в водной среде (в единицах P) (MKP);
- rcorg – 23 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического углерода в водной среде (CORG);
- rdon – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического азота в водной среде (DON);
- rnd – 22 потока для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) азота в водной среде (ND);
- rpd – 20 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) фосфора в водной среде (PD);
- rdop – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического фосфора в водной среде (DOP);
- rnh4 – 25 потоков для вычисляемой концентрации растворенного аммонийного азота в водной среде (NH_4);
- rno2 – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитритного азота в водной среде (NO_2);
- rno3 – 19 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитратного азота в водной среде (NO_3);
- rdip – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного неорганического фосфора в водной среде (DIP);
- rnf – 7 потоков для вычисляемой концентрации нефтепродуктов в водной среде (NF);
- rfnl – 7 потоков для вычисляемой концентрации фенолов в водной среде (FNL);
- ro2 – 24 потока для вычисляемой концентрации растворенного кислорода в водной среде (O_2);
- rps – 7 потоков для вычисляемой концентрации пестицидов в водной среде (PS);
- rhm – 7 потоков для вычисляемой концентрации тяжелых металлов в водной среде (HM);
- rcorgs – 4 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического углерода в осадках (CORGs);
- rnds – 4 потока для вычисляемой концентрации взвешенного азота в осадках (NDs);
- rnh4s – 5 потоков для вычисляемой концентрации аммонийного азота в осадках (NH_4s);
- rno3s – 6 потоков для вычисляемой концентрации нитратного азота в осадках (NO_3s);
- rn2 – 9 потоков для вычисляемой концентрации свободного азота в водной среде (N_2);
- rpdс – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного фосфора в осадках (PDs);

- rdips – 3 потока для вычисляемой концентрации растворенного неорганического фосфора в осадках (DIPs);
- ro2s – 4 потока для вычисляемой концентрации растворенного кислорода в осадках (O₂sed);
- rn2s – 2 потока для вычисляемой концентрации растворенного азота в осадках (N₂s);
- rfsi – 9 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде (в единицах Si) (F1Si);
- rsio4 – 14 потоков для вычисляемой концентрации неорганического кремния (силикатов) в водной среде (SiO₄);
- rsid – 11 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) кремния в водной среде (SiD);
- rz1si – 5 потоков для вычисляемой биомассы зоопланктона первой группы в водной среде (в единицах Si) (Z1Si);
- rhs – 8 потоков для вычисляемой концентрации сульфидов в водной среде (HS);
- rur – 18 потоков для вычисляемой концентрации мочевины в водной среде (UR);
- rsids – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного кремния в осадках (SiDs);
- rsio4s – 3 потока для вычисляемой концентрации силикатов в осадках (SiO₄s);
- rb1si – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах Si (B1Si);
- rsiorg – 14 потоков для вычисляемой концентрации органического кремния в водной среде (SiORG).

В программе CNPSi-модели (в разделе основной заставки «ПОТОКИ») с помощью функциональной клавиши «F1» можно посмотреть, как вычисляются указанные выше потоки для всех учитываемых в модели переменных (химических и биологических).

В блоке параметров «ПРОДУКЦИЯ» представлены расчетные значения удельных скоростей продукции гидробионтов (рассчитываются по уравнениям, представленным в процедуре RATES1) [Леонов, 2008]. Первые четыре буквы PROD – сокращенное обозначение расчетного термина «PRODUCTION», после этих букв следует обозначение гидробионтов, для которых оценены значения скоростей удельной продукции (размерность – сут⁻¹). В блоке параметров «ПРОДУКЦИЯ» задана следующая последовательность расположения значений удельной продукции гидробионтов:

- PRODB1C – для биомассы гетеротрофных бактерий B1 в единицах C (B1C);
- PRODB1N – для биомассы гетеротрофных бактерий B1 в единицах N (B1N);
- PRODB1P – для биомассы гетеротрофных бактерий B1 в единицах P (B1P);
- PRODB2N – для биомассы NH₄-окисляющих бактерий (группы *Nitrosomonas*) B2 в единицах N (B2N);
- PRODB3N – для биомассы NO₂-окисляющих бактерий (группы *Nitrobacter*) B3 в единицах N (B3N);
- PRODB4 – для биомассы нефтеокисляющих бактерий B4 в единицах C (B4C);
- PRODB5 – для биомассы фенолоксиляющих бактерий B5 в единицах C (B5C);

- PRODF1N – для биомассы первой доминирующей группы фитопланктона в единицах N (F1N);
- PRODF1P – для биомассы первой доминирующей группы фитопланктона в единицах P (F1P);
- PRODF2N – для биомассы второй доминирующей группы фитопланктона в единицах P (F2N);
- PRODF2P – для биомассы второй доминирующей группы фитопланктона в единицах P (F2P);
- PRODF3N – для биомассы третьей доминирующей группы фитопланктона в единицах N (F3N);
- PRODF3P – для биомассы третьей доминирующей группы фитопланктона в единицах P (F3P);
- PRODZ1N – для биомассы растительного зоопланктона в единицах N (Z1N);
- PRODZ1P – для биомассы растительного зоопланктона в единицах P (Z1P);
- PRODZ2N – для биомассы хищного зоопланктона в единицах N (Z2N);
- PRODZ2P – для биомассы хищного зоопланктона в единицах P (Z2P);
- PRODMKN – для биомассы макрофитов в единицах N (MKN);
- PRODMKP – для биомассы макрофитов в единицах P (MKP);
- PRODF1Si – для биомассы первой доминирующей группы фитопланктона в единицах Si (F1Si);
- PRODZ1Si – для биомассы растительного зоопланктона в единицах Si (Z1Si);
- PRODB1Si – для биомассы гетеротрофных бактерий B1 в единицах Si (B1Si).

В блоке параметров «ВРЕМЯ ОБОРОТА» использована следующая последовательность показателей и расчетных значений времен оборота переменных, собранная в файле PLOTTRN, вычисленных для данного интервала времени t (задан первым в каждом случае) и для соответствующей акватории (последним в данном блоке приводится № акватории): первое значение – интервал времени (t), далее идут значения времен оборота для биомасс: B1C, B1N, B1P, B2N, B3N, B4C, B5C, F1N, F1P, F2N, F2P, F3N, F3P, Z1N, Z1P, Z2N, Z2P, MKN, MKP; далее следуют значения времен оборота для химических переменных: CORG, DON, ND, PD, DOP, NH₄, NO₂, NO₃, DIP, NF, FNL, O₂, PS, HM; далее следует (еще не завершённый для вычислений значений биомасс) блок для пяти популяций рыб: F11N, F11P, F12N, F12P, F13N, F13P, F14N, F14P, F15N, F15P; далее идет блок значения времен оборота некоторых переменных донных отложений и водной среды: CORGs, NDs, NH₄s, NO₃s, N₂, PDs, DIPs, O₂sed, N₂s, F1Si, SiO₄, SiD, Z1Si, HS, SAL, UR, SiDs, SiO₄s, B1Si, SiORG, № акватории.

В блоке параметров «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ» представлены для каждого месяца и за год значения расчетной продукции биомасс гидробионтов в следующей их последовательности: B1C, B1N, B1P, B2N, B3N, B4C, B5C, F1Si, F1N, F1P, F2N, F2P, F3N, F3P, Z1Si, Z1N, Z1P, Z2N, Z2P, MKN, MKP, B1Si.

Для параметров «ПЕРЕМЕННАЯ», «СУММЫ», «УДЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ» в начале следует выбрать временной интервал построения графиков и диаграмм и только после этого выбирается сама переменная и указывается номер акватории, для которой выполняется графирование переменных (рис. 5.9).

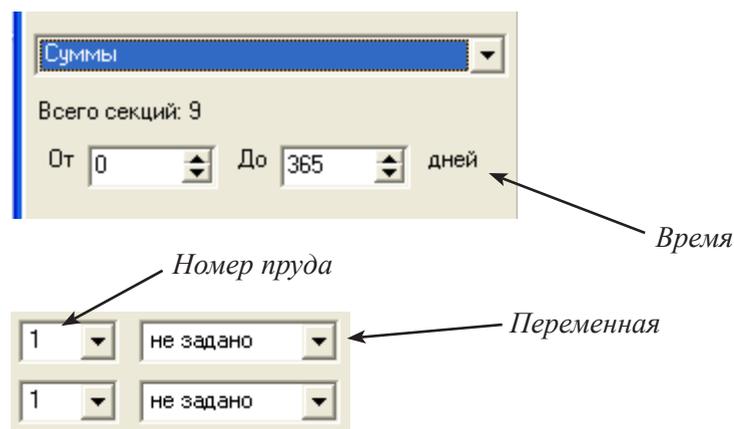


Рис. 5.9. Фрагменты всплывающих списков выбора временного отрезка, номера пруда и переменной

Для параметров из блоков «ПОТОКИ», «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ» и «ВРЕМЯ ОБОРОТА» графики и диаграммы автоматически строятся только за весь расчетный период (как правило, за один год). По умолчанию модель предоставляет пользователю пять вариантов наборов параметров для графиков с всплывающими списками номеров прудов и переменных, которые при необходимости можно дополнить до десяти, нажимая кнопку «Добавить график».

По завершении выбора переменных необходимо нажать кнопку «Построить», после чего в правой части окна модели будут построены соответствующий график или диаграмма. При внесении изменений в набор параметров изменения графиков (диаграмм) будут автоматически отображаться в данном окне.

При необходимости каждый элемент графика может быть изменен в меню общих настроек, которое вызывается путем двойного щелчка левой кнопкой мыши в окне отображения. В появившемся меню настроек (рис. 5.10) можно изменить тип линии, тип маркера (для графиков) и выбрать соответствующие цвета для построенных графиков и диаграмм.

Включив вкладку «Параметры», пользователь может выполнить настройку вида осей, добавить надписи и выбрать цвет фона графика (рис. 5.11).

Ниже приводятся примеры построения графиков и диаграмм для каждого параметра на примере исследованных районов 1–3 Татарского пролива (Японское море) (рис. 5.12).

В блок «ПЕРЕМЕННАЯ» включены значения концентраций химических и биологических параметров водной среды для каждой исследуемой акватории, соответствующие определенным моментам времени в заданном интервале времени. На рис. 5.13 представлены построенные графики по информации из блока «ПЕРЕМЕННЫЕ», характеризующие изменения в течение года концентрации DON в мг N/л в акваториях 1–3. Отображение каждого графика осуществляется разными цветами, а в легенде у соответствующих переменных в скобках указан номер акватории.

Далее представлены графики для разных расчетных характеристик, построенные с помощью описываемой системы отображения результатов моделирования.

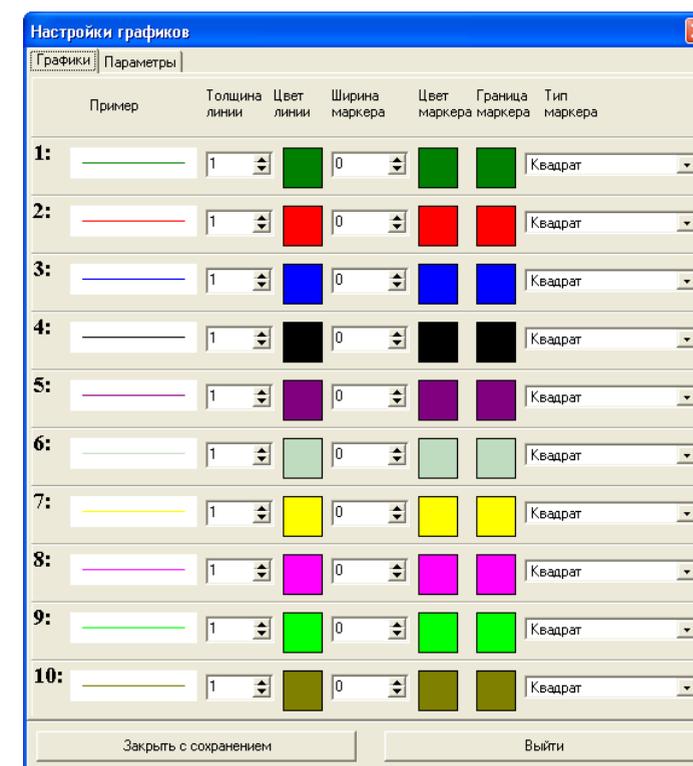


Рис. 5.10. Вид окна с настройками системы отображения результатов расчетов в виде графиков

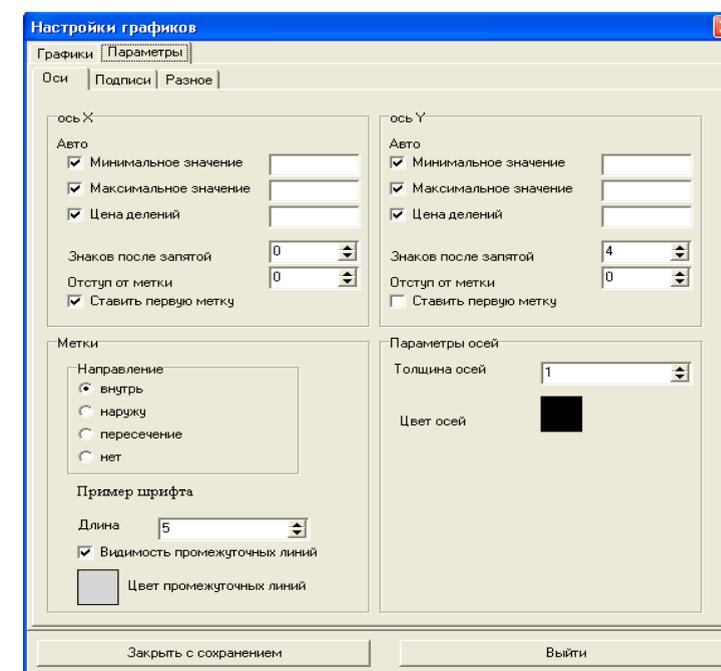


Рис. 5.11. Вид окна настройки параметров

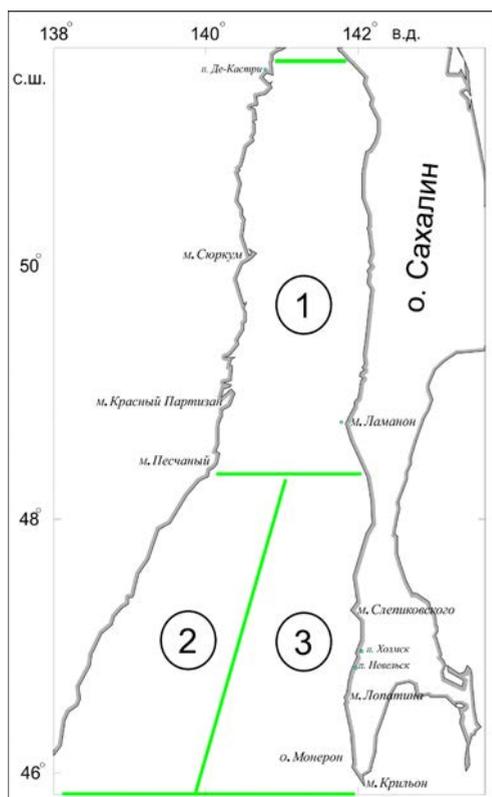


Рис. 5.12. Схема подразделения Татарского пролива на районы 1–3

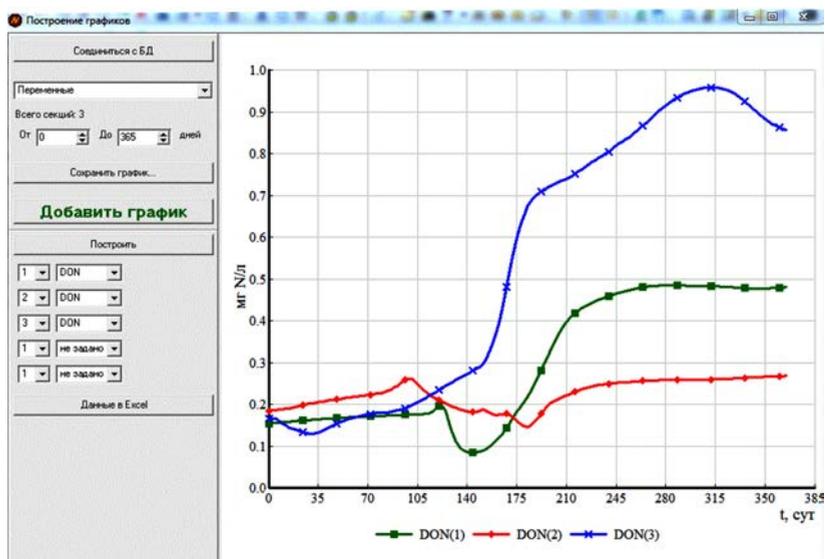


Рис. 5.13. Вид окна с графиками изменения в течение года концентраций DON в мг N/л в акваториях 1–3

В блоке «ПРОДУКЦИЯ» содержится информация о значениях удельных скоростей продукции гидробионтов для всех исследованных акваторий; дискретность шага по времени для сохранения информации в этом блоке задается во входных данных. В качестве примера на рис. 5.14 показаны изменения в течение года значений удельной продукции биомассы гетеротрофных бактерий ($PrBIN$, $сут^{-1}$) в акваториях 1–3.

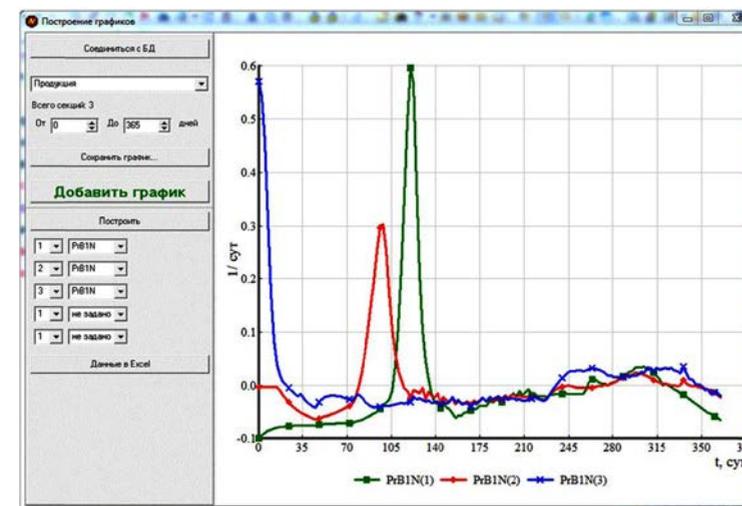


Рис. 5.14. Вид окна с графиками изменения в течение года удельной продукции биомассы гетеротрофных бактерий в единицах N ($PrBIN$) в акваториях 1–3

На рис. 5.15 представлены графики, построенные по информации из блока «СУММЫ», показывающие изменения в течение года суммарных концентраций N во взвешенном веществе ($SumN_{par}$) в водах акваторий 1–3.

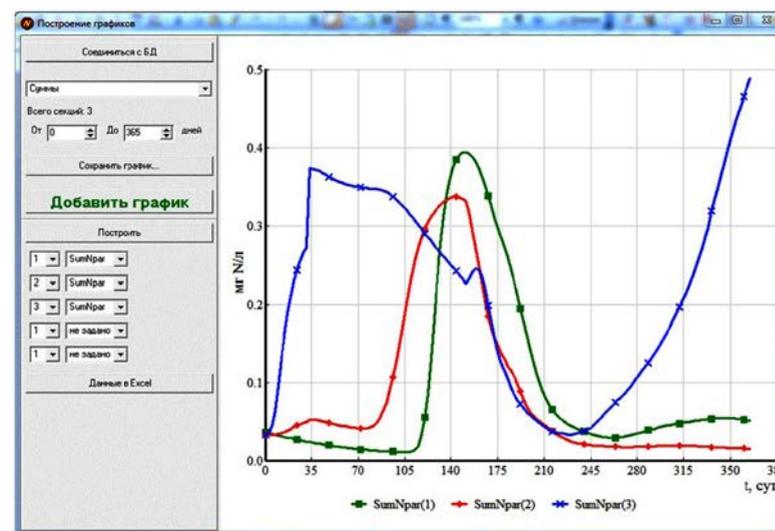


Рис. 5.15. Вид окна с графиками, построенными по информации из блока «СУММЫ», показывающими изменения суммарного содержания N во взвешенном веществе ($SumN_{par}$) в водах акваторий 1–3

В блок «ПОТОКИ» включены значения всех расчетных потоков по разным каналам трансформации веществ рассмотренных переменных модели для исследованных акваторий (потоки считаются для каждого шага времени, а при построении графиков выполняются обработка информации и расчет значений потоков для каждого месяца с учетом числа дней в месяце и за год). На рис. 5.16 приведен пример построенной диаграммы, показывающей изменения для каждого месяца потребления N гетеротрофными бактериями в акватории 3.

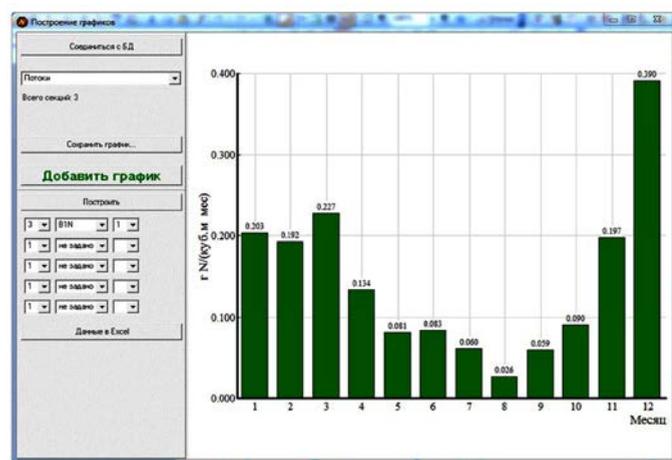


Рис. 5.16. Вид окна с диаграммой, построенной по информации из блока «ПОТОКИ», иллюстрирующей изменения потребления N гетеротрофными бактериями для каждого месяца (в г N /куб. м мес.) в акватории 3

В блоке «ВРЕМЯ ОБОРОТА» сохраняются расчетные мгновенные значения времен оборота концентраций химических и биологических переменных. В качестве примера на рис. 5.17 показано изменение в течение года времени оборота биомассы гетеротрофных бактерий в единицах N ($trBIN$). Показатель времени оборота для всех параметров строится с фиксированным расчетным периодом для всего расчетного периода.

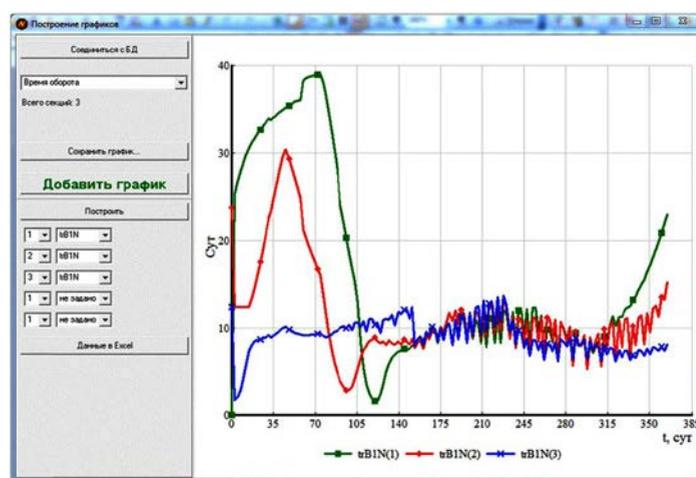


Рис. 5.17. Вид окна с графиком изменения времени оборота биомассы гетеротрофных бактерий в единицах N ($trBIN$) в акваториях 1–3

В блоке «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ» в процессе проигрывания модели сохраняется информация, по которой можно рассчитать для каждого месяца значения общей продукции для всех гидробионтов по всем акваториям. Пример изменения расчетного показателя общей продукции первой группы фитопланктона в единицах г P /(куб. м мес.) для акватории 2 показан на рис. 5.18.

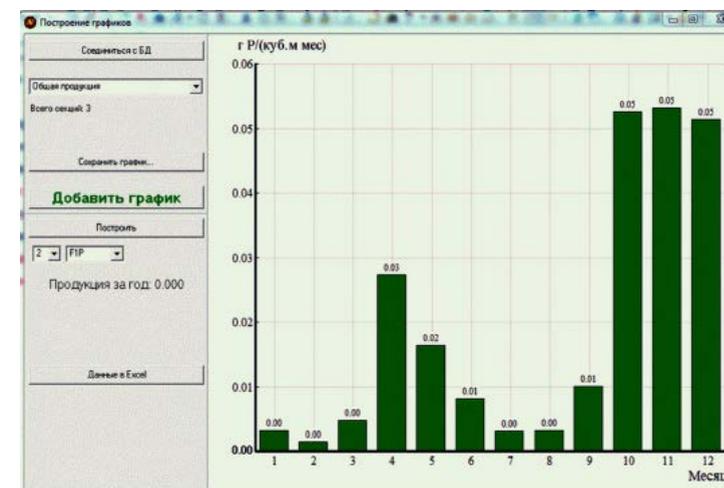


Рис. 5.18. Вид окна с графиком расчетного изменения общей продукции первой группы фитопланктона в г P /(куб. м мес.) в акватории 2

При нажатии кнопки «Сохранить график» построенные графики и диаграммы сохраняются в формате bmp. Для просмотра или внесения изменений в рабочую базу данных следует нажать кнопку «Данные в Excel» (здесь следует отметить, что модель не работает с версией Microsoft Office Excel 2007 г.). Программа автоматически открывает книгу, в которой находятся расчетные данные для построения графиков и диаграмм по результатам выполненных расчетов.

Практически полный пакет построенных графиков по результатам расчетов динамики БВ и биомасс микроорганизмов в районах 1–3 Татарского пролива представлен в работе [Леонов и др., 2012].

Вопросы для закрепления материала

1. Что позволяет делать пользователю CNPSi-модели вторая часть программного комплекса после завершения расчетов?
2. На основе какой базы данных создана в CNPSi-модели система отображения результатов модельных расчетов?
3. Как производится вызов системы отображения, чтобы начать работать с ней?
4. Какое слово служит паролем для входа в систему отображения?
5. Как производится выбор режима работы, когда пользователь входит в систему отображения полученной с помощью CNPSi-модели информации?
6. Сколько уровней разделов меню включает система отображения результатов моделирования?
7. Как пользователь может получить помощь перед построением графиков в системе отображения в идентификации включенных в модель переменных?

ГЛАВА 6

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ВОДАХ ЗАЛИВА АНИВА

В настоящее время охотоморский шельф северной части Сахалина является главным нефтегазоносным районом Дальнего Востока России. В его пределах только разведано 384 млн. т нефти, газоконденсата и около триллиона м³ газа. Общий предполагаемый объем извлекаемых запасов превышает разведанный более чем в три раза [Фашук и др., 2003]. Первая поисковая скважина была пробурена в 1977 г. на северном своде структуры Одопту–море. Промышленная добыча нефти с нефтедобывающей платформы «Моликпак» (в рамках проекта «Сахалин-2») началась в 1999 г., а с берега (наклонное бурение) – на два года раньше. К настоящему времени на шельфе Сахалина пробурено > 70 поисково-разведочных и 14 эксплуатационных скважин и добыто > 8 млн. т нефти. Зафиксированы и первые чрезвычайные ситуации, связанные с аварийными разливами добываемой и транспортируемой нефти. В 2004–2006 гг. на о. Сахалин начаты строительство нефте- и газопроводов, а в шельфовой зоне острова на побережье зал. Анива – подготовка площадки для завода по сжижению природного газа (СПГ), а также причальных сооружений для супертанкеров вместимостью > 100 тыс. т. В настоящее время и завод, и причальные сооружения уже находятся в эксплуатации.

Активная реализация шельфовых проектов создает потенциальную угрозу загрязнения морских акваторий. Практически повсеместно шельфовые месторождения нефти и газа являются высокопродуктивными акваториями, в которых традиционно ведется и активная добыча морских биоресурсов [Патин, 2001]. Известно [Моисеев, 1989], что рыбопродуктивность шельфовых зон на порядок выше, чем остальной части акватории морей и океанов. На Охотское море в прошлые годы приходилось до 40 % союзной добычи рыбы и морепродуктов [Сапожников, 1994, 1997]. Однако освоение морских нефтегазовых месторождений в настоящее время еще не может осуществляться без техногенного отрицательного воздействия на морскую среду. Поэтому проблема наблюдений и оценки антропогенного воздействия на морскую среду и обитающих в ней гидробионтов с целью сохранения возобновляемых морских ресурсов шельфа Сахалина весьма актуальна. В последнее десятилетие эта проблема приобрела особую актуальность вследствие переориентации рыболовного промысла от преимущественно океанического к прибрежному в связи с изменением экономической ситуации в стране.

Мировой опыт показывает, что неизбежным следствием разработки морских месторождений является загрязнение водной среды высокоминерализованными сточными водами, сырой нефтью, химическими реагентами, сероводородом, биогенными веществами (БВ) [Патин, 1997]. Наиболее тяжелые последствия, как правило, наблюдаются в результате аварий при транспорте добытой нефти. Загрязнение морской среды нарушает естественное развитие экологических процессов трансформации органических веществ, формирования био-

массы фито- и зоопланктона – основы кормовой базы морского сообщества. В итоге снижается биопотенциал морской среды и происходит ее деградация, которая часто необратима [Фашук и др., 2003].

В конце XX в. морской нефтегазовый комплекс обеспечивал до 30 % мировой добычи нефтегазовых углеводородов (НУ). При этом ежегодно в окружающую среду выбрасывается > 3 млрд. т твердых отходов, ~ 500 км³ сточных вод и ~ 1 млрд. т аэрозолей. В этих отходах насчитывается > 800 веществ, однако нефть и нефтепродукты доминируют [Патин, 1997]. Отметим, что на всех этапах добычи и транспортировки нефти ежегодно теряется > 45 млн т (на суше – 22 млн т, на море ~ 7 млн т, в атмосферу в виде продуктов неполного сгорания топлива поступает 16 млн т) [Панов и др., 1985].

Некоторые литературные данные по поступлению НУ в морские и океанические воды из разных источников приведены в табл. 6.1. Общее количество поступающих в морскую среду НУ по разным оценкам составляет 1.7 – 8 млн. т/год [Израэль, Цыбань, 1989], но в большинстве случаев указываются величины 5–6 млн т [Матишов и др., 1997]. Загрязнение морской среды нефтью происходит в результате аварий на буровых установках (при добыче нефти) и на танкерах (при ее транспортировке). На фоне всех источников общие потери на морских нефтепромыслах в суммарном загрязнении вод Мирового океана НУ не превышают нескольких процентов [Патин, 2001], а по другим источникам – 5–12 % (или 0.275 – 0.66 млн т) [Матишов и др., 1997]. Поступление от танкерного флота составляет 0.95–2.62 млн т [Израэль, Цыбань, 1989]. На современных морских нефтепромыслах добыча одной тонны нефти сопровождается ее потерями (в среднем 1–10 г) при разливах [Патин, 2001].

Значительное загрязнение морской среды происходит при сбросе пластовых вод, которые имеют повышенную минерализацию, характеризуются многокомпонентностью и сильной изменчивостью состава, а также присутствием НУ (0.6 млн т/год) [Патин, 2001]. Весомое поступление НУ в морскую среду происходит при естественном просачивании со дна, оно, по разным источникам, может составлять от 0.025 до 2.5 млн т (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Литературные данные по поступлению нефти и нефтепродуктов
в воды Мирового океана

№	Источник нефтепродуктов	Млн т/год	Т/сут	Ссылка	
1.	Суммарно из всех источников	3.5–8.8	9589–24110	Проблемы..., 1989	
		7	19178	Панов и др., 1986	
		1.7–8.8	4658–24110	Израэль, Цыбань, 1989	
	Суммарное поступление (без учета разлива нефти при катастрофах), в том числе:	6.25	17123	Marine Pollution Monitoring (Petroleum) Symposium, Gaithersburg, USA, 1974	
		– от морского транспорта	2.25		6164
		– потери при добыче на шельфе	0.1		274
2.	Естественный выход из морского дна	> 0.6	> 1644	Etkin et. al., 1999; Mar. Pollution, 1974	
		0.2–1.0	548–2740	Wilson, Monaghan, 19	

Продолжение таблицы 6.1

№	Источник нефтепродуктов	Млн т/год	Т/сут	Ссылка
		0.025–2.5	68.5–6849	Израэль, Цыбань, 1989
3.	Выпадения из атмосферы	0.4–0.8	1096–2192	Миронов, 1985
		0.6	1644	Mar. Pollution, 1974
4.	Береговой сток	0.8	2192	Патин, 1997
	Береговые источники	1.175	3219	
	городские стоки	0.5–2.5	1370–6849	
	переработка нефти другие стоки	0.060–0.6 0.050–0.2	164–1644 137–548	
5.	Речной сток	1.9	5205	Mar. Pollution, 1974
	Речной сток	1.6	4383	Petroleum..., 1975
	С речным стоком в:			Шапоренко, 1997
	Каспийское море	0.05599	153.4	
Белое море Охотское море	0.0051 0.00183	14.0 5.011		
6.	Сточные воды, хозяйственно-бытовые стоки, городская канализация	0.9	2466	Petroleum..., 1975
	Со сточными водами в:			Шапоренко, 1997
	Каспийское море	0.00692	18.96	
	Белое море	0.00052	0.141	
Охотское море Балтийское море	0.146 0.00031	0.4 0.858		
7.	Из атмосферы и с суши (осадки, бытовые и промышленные стоки, сток рек, захоронение отходов)	0.585–3.12	1603–8548	Израэль, Цыбань, 1989
8.	С прибрежных территорий	0.13	356	Wang et. al., 2003
9.	С морских судов (порты, доки, трассы морских перевозок)	0.029	79.5	
10.	Сбросы пластовых вод	0.6	1644	Патин, 2001
11.	При авариях танкеров	0.95–2.62	2603–7178	Израэль, Цыбань, 1989
		0.275–0.66	753–1808	Матишов и др., 1997
12.	Образование морскими организмами	10–12	27397–32880	Гурвич, 1993

Природа и поведение НУ в морской воде и донных отложениях (ДО) неодинаковы. Наиболее значительные последствия от разлитой на поверхности нефти могут быть в прибрежной зоне (особенно в бухтах). ДО, накапливая НУ естественного и антропогенного происхождения, длительное время могут являться действенным источником загрязнения водной среды [Миронов, 1985]. На шельфе Сахалина, например, встречаются локальные повышения концентраций НУ в воде и ДО в тех районах, где отсутствуют какие-либо антропогенные источники загрязнения водной среды. Это районы интенсивного выхода со дна моря природного газа [Патин, 2001].

Существенным внешним источником загрязнения морской среды НУ является речной сток, с которым выносятся ежегодно в море 1.6–1.9 млн т нефти. Однако имеются и другие оценки, которые показывают, что вынос НУ с речным стоком в отдельные моря намного ниже: в Каспийское, Белое и Охотское моря с ним выносятся соответственно 55.6, 5.1 и 1.83 тыс. т [Шапоренко, 1997].

С промышленными, хозяйственно-бытовыми и канализационными сточными водами в морскую среду может поступать до 1 млн т нефти [Petroleum ..., 1975]. Для морей России оцененный вынос НУ со сточными водами также меньше: в Каспийское, Белое, Охотское и Балтийское моря поступает НУ со сточными водами соответственно 6.92, 0.52, 0.15 и 0.31 тыс. т [Шапоренко, 1997]. За счет выпадения из атмосферы в морскую среду поступает НУ в количестве 0.4–0.8 млн т [Миронов, 1985]. При этом ~ 90 % НУ, содержащихся в атмосфере, выводится из нее в Северном полушарии, а время пребывания НУ в атмосфере оценивается в 0.5–2.3 года [Платпира, 1985].

Сброс НУ в океан с прибрежных территорий составляет 130 тыс. т/год (или 356 т/сут), а непосредственно с морских судов – 29 тыс. т/год (с учетом сбросов в портах, доках и на судоходных трассах) [Wang, et al., 2003].

Поступающая из перечисленных выше источников нефть разносится морскими течениями и присутствует практически во всех районах Мирового океана [Миронов, 1985]. Как свидетельствуют имеющиеся в литературе данные, в разных районах Мирового океана значения концентраций НУ примерно одного порядка. Так, в водах Южно-Китайского моря во влажный сезон (июль) концентрация НУ составляла 5.77 мкг/л, а в засушливый (ноябрь) – 37.28 мкг/л при среднегодовом содержании 14.48 мкг/л [Wang, et al., 2003]. В водах Рижского залива (Балтийское море) концентрации НУ были в пределах 20–40 мкг/л [Платпира, 1985]. В водах Кольского залива средняя концентрация НУ была ~ 50 мкг/л, и она сохраняется уже на протяжении нескольких лет. Однако в районах локального загрязнения морской среды их содержание может превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) на один-два порядка. Отметим, что вблизи нефтедобывающего комплекса к северу от о. Колгуев концентрации НУ > 50 мкг/л не обнаруживались [Матишов и др., 1997]. Естественная фоновая концентрация НУ в поверхностном слое вод Мирового океана может достигать 10 мкг/л, а их ПДК превышает ее в пять раз и составляет 50 мкг/л [Фащук и др., 2003].

На всей акватории дальневосточных морей фоновое содержание НУ составляет 15–20 мкг/л [Немировская, 1996, 1997; Tkalin, 1993]. Оцененное содержание экстрагируемых НУ в открытых водах шельфа Сахалина может меняться в пределах 1–10 мкг/л, в прибрежных водах – 10–100 мкг/л, в заливах, губах, устьях рек – 100–1000 мкг/л, в районах локального загрязнения – > 1000 мкг/л [Патин, 2001].

В настоящее время основное загрязнение прибрежных вод Сахалина происходит в результате сброса сточных вод предприятий нефтегазовой, угольной и других отраслей промышленности, хозяйственно-бытовых стоков, сбросов и сливов с судов морского транспорта и рыбного флота, а также при засорении и загрязнении речных и морских вод отходами лесозаготовки и деревообработки. Загрязненные стоки поступают в многочисленные реки, преимущественно в районах добычи нефти на Сахалине (из них > 170 относятся к категориям загрязненных или слабозагрязненных) [Патин, 2001].

Из-за увеличивающихся масштабов разработок и эксплуатации месторождений нефти и газа на шельфе Сахалина в настоящее время становятся особенно актуальными аналитические работы по определению фонового содержания

НУ (особенно в районах добычи нефти и газа), а также водно-экологические исследования по оценкам перераспределения и условий трансформации НУ на акваториях, прилегающих к о. Сахалин [Патин, 2001].

6.1. Основные сведения о присутствии и процессах трансформации нефтяных углеводородов в морской среде

Освоение морских нефтегазовых месторождений на шельфах морей, исходя из мирового опыта, может быть отнесено к примерам негативного антропогенного воздействия на водные экосистемы, так как неизбежным следствием развития морской нефтегазовой индустрии является загрязнение морской среды [Сулейманов и др., 1986] в результате сброса буровых отходов, аварий при разведочном бурении, промышленной добыче, транспортировке по трубопроводам и перевозках на танкерах.

Нефть – сложная смесь нескольких тысяч углеводородов (в основном жидких, 80–90 % по массе), нафтеновых кислот, асфальтенов, смол и других компонентов. Она включает производные, содержащие S (меркаптаны, тиофены, дисульфиды, тиофаны и др.), N (гомологи пиридина, акридина, гидрохинолина и др.) и O₂. Сырая нефть содержит также до 10 % воды, растворенные углеводородные газы (до 4 %), минеральные соли (преимущественно хлориды – до 4 г/л) и многие микроэлементы, по соотношению концентраций которых (чаще V и Ni) получают дополнительную характеристику о происхождении и свойствах нефти. Среди НУ обычно выделяют [Патин, 1997]:

- алканы – парафиновые (ациклические) насыщенные углеводороды с прямой или разветвленной цепью атомов С (40–50 % по объему);
- нафтены (циклопарафины) – насыщенные циклические и полициклические соединения, в которых атомы водорода могут быть замещены алкильными группами (25–75 %);
- арены – ароматические ненасыщенные циклические соединения ряда бензола, где атомы водорода могут быть также замещены алкильными группами (обычно до 10–20, реже до 35 %);
- алкены (олефины) – ненасыщенные нециклические углеводороды с прямой или разветвленной цепью и двойной связью С=С (соединения этого ряда не входят в состав сырой нефти, но являются основным продуктом ее крекинга).

Нефть присутствует в водной среде в виде нескольких агрегатных состояний: поверхностных пленок (сликов); растворенных форм; эмульсий (типа «нефть в воде» и «вода в нефти»); взвешенных форм (плавающие на поверхности и в толще воды мазутно-нефтяные образования, сорбированные на взвешенных нефтяных фракциях); осажденных на дне твердых и вязких компонентов; а также в виде соединений, аккумулированных в гидробионтах.

Основная масса нефти в водах на шельфе Сахалина имеет удельную плотность 0.85 г/см³ (легкая), она включает парафины – 0.15–0.40 % (низкое и среднее), S – 0.09–0.40 % (низкое), газ – 100–150 м³/т (полное насыщение, преобладание метана, количество конденсированного газа – 30–150 г/м³), нефтеасфальтеновые вещества – 1.5–6 % (низкое). Содержание и отношение в этой нефти металлов (V, Ni, Fe, Mo) меняются [Геология ..., 1997]. Отличительные свойства нефти сахалинского шельфа важны для морской среды обитания: легкие фракции НУ легко растворимы в воде [Дронов, 1984] и быстро ассимилируются микроорганизмами, имеют низкое содержание S. Поэтому эта нефть

менее агрессивна (чем нефть с более высоким содержанием S) по своему воздействию на материалы, из которых делают трубопроводы.

С первых же секунд контакта нефти и ее продуктов с морской средой развивается сложнейшая картина их превращений, ход, длительность и результаты которых зависят от свойств и состава самой нефти, а также от условий окружающей среды. Главными чертами этой картины являются: динамизм (особенно на первых стадиях) и тесное переплетение физических, химических и биологических процессов рассеяния и трансформации компонентов нефти (вплоть до их полного исчезновения как исходных субстратов). Можно выделить следующие важнейшие процессы трансформации нефти при ее попадании в морскую среду [Миронов, 1985; Патин, 1997]:

– **перенос** – процесс, в котором поведение разлитой на поверхности моря нефти контролируется действием сил тяжести, ее вязкостью и поверхностным натяжением. Уже через 10 мин после разлива 1 т нефти она распространяется в виде пленки (толщиной до 10 мм) на акватории в радиусе 50 м с последующим образованием тонкой пленки (< 1 мм) на площади до 12 км² [Ramade, 1978]. Растекание сырой нефти приводит к быстрой потере ее летучих и водорастворимых компонентов. Более вязкие фракции тормозят этот процесс. В виде пленки нефть дрейфует (преимущественно в направлении ветра) со скоростью 3–4 % от скорости ветра (часто превышающей скорость движения воды) [Миронов, 1989]. Со временем пленка нефти становится тоньше, при критической толщине (~0.1 мм) она разрывается и ее фрагменты распространяются на обширных пространствах. Сильный ветер быстро рассеивает эти фрагменты в деятельном слое. При этом значительная часть нефти переходит в эмульгированную форму, которая течениями переносится на значительные расстояния от исходного места своего разлива;

– **испарение** – процесс, особенно важный для менее растворимых насыщенных НУ, так как при контакте с воздухом происходит улетучивание НУ в атмосферу [Дронов, 1984]. В первые несколько суток после разлива нефти соответственно до 75, 40 и 5 % ее легких, средних и тяжелых фракций переходит в газовую фазу [Wang, Fingas, 1994]. Испарение низкомолекулярных алканов, циклоалканов и бензолов происходит особенно быстро (от минут до часов). Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) (типа антрацена и пирена) практически не переходят в газовую фазу: они остаются в водной среде и претерпевают сложную трансформацию при окислении, биодеградации и фотохимических процессах. Это приводит к образованию более полярных и растворимых соединений. Фракции нефти, имеющие точку кипения < 370 °С, испаряются за несколько суток [Флудгейт, 1976]. Оценено, например, что за несколько суток испаряется 2/3 нигерийской нефти и только 2/5 сырой венесуэльской нефти. В целом условия распространения и присутствия НУ в морской среде определяются ветровым режимом, волнением и течениями;

– **растворение** – процесс, скорость которого зависит от молекулярной структуры и массы НУ. Ароматические НУ наиболее растворимы и активно переходят в водную среду [Дронов, 1984]. Нафтеновые НУ практически в воде не растворяются. Растворимость НУ с возрастанием их массы в воде снижается. После попадания НУ в водную среду она обогащается наиболее растворимыми низкомолекулярными ароматическими и алифатическими НУ. Это сопровождается весьма быстрым улетучиванием и нарастанием доли ароматических НУ, которые менее летучи и менее растворимы. В растворенное состояние переходит ~ 1–3 % (иногда до 15 %) сырой нефти (это в первую очередь низкомолекулярные, алифатические и ароматические НУ, а также по-

лярные соединения, образующиеся в морской среде при окислении некоторых исходных НУ). Скорость перехода НУ в растворенное состояние зависит от гидродинамических и физико-химических факторов окружающей среды. Под пленкой нефти в море содержание растворенных НУ составляет от 0.1 мг/л [Baker et al., 1990] до 0.3–0.4 мг/л [Grahl-Nielsen, 1987]. При более высоком их содержании образуются нестойкие нефтеводяные эмульсии. Образование водорастворимой фракции НУ зависит от типа нефти, интенсивности и продолжительности перемешивания растворов (нефти и воды), отношения их смешиваемых объемов и в целом от времени достижения стабильного распределения НУ между водной и нефтяной фазами;

– **эмульгирование и диспергирование** – процессы, развивающиеся за счет гидродинамических факторов при поступлении в морскую среду НУ в виде эмульсий и присутствии в составе НУ высокомолекулярных соединений, особенно активно участвующих в образовании эмульсий. Наиболее устойчивые эмульсии (типа «вода в нефти») содержат от 30 до 80 % воды. Они образуются после сильных штормов в зонах разливов тяжелых нефтей, в которых повышено содержание нелетучих фракций (например, нафтенов). Такие эмульсии (шоколадного и других оттенков) могут существовать в морской среде > 100 сут. Их устойчивость возрастает с понижением температуры воды. Гидрометеорологические факторы оказывают определяющее влияние на судьбу разных НУ на всех этапах их трансформации и распределении в морской среде. Особенно важна их роль в первые часы нахождения нефти в морской среде, когда в ней присутствуют маловязкие летучие и растворимые фракции и процесс диспергирования НУ проходит наиболее эффективно. Мелкодисперсная фракция НУ в последующем практически не образуется [Дронов, 1984];

– **агрегирование** – процесс, в результате которого в морской среде образуются нефтяные агрегаты в виде смолисто-мазутных образований. На их формирование расходуется 5–10 % разлитой сырой нефти и до 20–50 % отстоя нефти и ее компонентов в балластных и промывочных емкостях нефтяных танкеров [Бенжицкий, 1980]. Химический состав нефтеагрегатов весьма изменчив, но его основу обычно составляют асфальтены (до 50 %) и высокомолекулярные соединения тяжелых фракций нефти;

– **химическое окисление и деструкция** – эти процессы в водной среде начинают развиваться лишь спустя сутки после поступления нефти в море. Часто ее химическое окисление сопровождается ее фотохимическим разложением под воздействием ультрафиолетовой части солнечного спектра. Присутствие V ускоряет, а S замедляет этот процесс. Конечные продукты окисления НУ (гидроперекиси, фенолы, карбоксильные кислоты, кетоны, альдегиды и др.) имеют повышенную растворимость в воде, а их присутствие повышает токсичность водной среды;

– **микробиологическое разложение** – процесс, определяющий конечную судьбу НУ в морской среде. До 100 видов бактерий и грибов способны использовать НУ в качестве субстрата для роста и развития биомассы. Их численность не > 0.1–1 % от численности гетеротрофных бактериальных сообществ в чистой морской среде и может возрастать до 1–10 % в загрязненных нефтью акваториях [Atlas, 1993]. **Механизм процессов потребления НУ микроорганизмами** – предмет специальных лабораторных исследований [Миронов, 1985; Платпира, 1985; Miura, 1978]. Способность НУ к биодеградации зависит от их строения. Соединения парафинового ряда (в сравнении с ароматическими и нафтеновыми НУ) легче потребляются микроорганизмами. Усложнение молекулярной структуры НУ (или увеличение атомов С и разветвленности их цепей)

приводит к тому, что скорость их микробиологической деструкции уменьшается. Например, скорость биодеградации антрацена и бенз(а)пирена в десятки и сотни раз ниже, чем бензола [Богдашкина, Петросян, 1988; Тинсли, 1982]. В целом она зависит от степени диспергированности НУ, температуры среды, содержания биогенных веществ и O₂, видового состава и численности нефтеокисляющей микрофлоры [Фащук, Шапоренко, 1995; Atlas, Bartha, 1972];

– **седиментация** – процесс, в котором до 10–30 % НУ сорбируется на взвеси и осаждается на дно. Седиментация развивается в основном в прибрежной зоне и на мелководье, где много взвеси и происходит активное перемешивание водных масс. На больших глубинах седиментация развивается крайне медленно (исключение – тяжелые нефти). Аккумулированные в толще донных отложений тяжелые фракции нефти могут сохраняться многие месяцы и годы. В морской среде соотношение растворенных и взвешенных форм нефти и ее компонентов меняется в широких пределах в зависимости от конкретных условий окружающей среды, состава, свойств и происхождения НУ. Например, в водах Балтийского моря это соотношение варьирует в пределах от 0.2 до 2.1 [Нестерова и др., 1986]. При изучении осадения нефти в Каспийском море было обнаружено, что внутри слипшихся нефтяных образований в изолированном от морской воды состоянии присутствует в заметных количествах морская соль (возможно, в форме концентрированного рассола): в двух пробах на 4.4 и 2.1 мг НУ приходилось соответственно 0.3 и 0.1 мг соли [Дронов, 1984].

Суммарный эффект всех рассмотренных выше процессов в том, что нефть быстро теряет свои первоначальные свойства, разделяется на группы НУ и фракции разных форм, состав и химическая структура которых радикально трансформируется, а содержание падает в результате рассеяния и разложения вплоть до исчезновения исходных и промежуточных соединений с образованием CO₂ и H₂O. В итоге осуществления указанных процессов происходит очищение водной среды от попавших в нее НУ.

В последние 30–40 лет методология прогноза последствий загрязнения морской среды НУ развивается особенно интенсивно и постоянно совершенствуется. Поэтому часто меняются методы, по которым строятся шкалы пространственно-временной изменчивости биотических и абиотических характеристик и экспертных оценок экологического риска [Патин, 2001], что затрудняет их практическое применение и сравнительную оценку. Прямой путь решения проблемы – проведение мониторинговых наблюдений контактными методами, что требует, однако, больших финансовых затрат. Альтернативной методологией анализа условий загрязнения морской среды (и последствий для экосистемы водоема) может стать математическое моделирование, которое должно включать создание разнообразных моделей, имитирующих динамику концентраций органических веществ и базирующихся на данных локального мониторинга. Важность роли моделирования заключается в возможности исследования взаимодействий и обратных связей, которые определяют условия функционирования морских экосистем.

С помощью математического моделирования, как правило, изучаются условия распространения НУ при аварийных ситуациях (нефтяных разливах): проигрываются различные сценарии как самих нефтяных разливов (постоянные утечки, аварийные разливы и т. д.), так и сопутствующих гидрометеословий. Например, для шельфа Сахалина проигрывались ситуации от постоянных утечек (12720 м³ в течение 10 сут) до аварийных разливов нефти (> 75000 м³/сут) в разных районах шельфовой зоны в различные сезоны и при разных погодных условиях [Кочергин и др., 1998; Кочергин и др., 1999]. Другой пример модели-

рования аварийной ситуации в рамках проекта «Сахалин-1»: в сценарии аварийного разлива нефти на восточном шельфе Сахалине учитывалось длительное ее поступление в морскую среду (в течение 3–21 сут с интенсивностью 3400 т/сут), отслеживались распространение и протяженность пятна нефти, а также возможность загрязнения нефтью береговой зоны [Патин, 2001].

Поступающие в морскую среду НУ (преимущественно в растворенном состоянии или в форме эмульсии) подвергаются в дальнейшем химико-биологической трансформации или разрушению. Отметим, что при математическом моделировании распространения НУ в морской среде химико-биологическое их разрушение, как правило, либо вовсе не рассматривалось, либо задавалось упрощенно, так как вопрос о моделировании условий микробиологической трансформации НУ в водной среде еще практически не разработан. Лишь сравнительно недавно этому вопросу стало уделяться должное внимание [Коновалов и др., 2004].

При развитии физико-химических и химико-биологических процессов в морской среде концентрация НУ снижается и происходят качественные изменения состава НУ, фиксируемые по меняющемуся соотношению между разными классами НУ [Немировская, 1996]. Оценено, что биодegradация нефти по временным масштабам осуществляется за период продолжительностью от недели до года [Патин, 2001].

Способность естественной морской среды осуществлять разрушение НУ (иногда этот процесс называют самоочищением) определяется активностью нефтеокисляющей микрофлоры и ее адаптацией к повышенным концентрациям НУ. Факторы среды (температура, освещенность, наличие и поступление биогенных веществ и НУ, преобладающие течения, интенсивность водообмена с окружающими регионами) играют существенную роль в формировании условий, при которых в естественной морской среде осуществляется трансформация НУ [Миронов и др., 1988]. Этот процесс сопровождается образованием широкого спектра частично окисленных продуктов трансформации НУ (фенолов и кислот) [Платпира, 1985]. Отметим, что самоочищение морской среды от НУ – процесс комплексный, который осуществляется при одновременном воздействии физических, химических и биологических факторов [Матишов и др., 1997]. При этом физические факторы, определяющие преимущественно перемещение и преобразование попавшей в морскую среду нефти, служат лишь фоном, на котором осуществляется основная деградация НУ в результате химического (или биологического) их окисления. В ряде работ было показано преимущество бактериального окисления НУ над химическим [Матишов и др., 1997]. На ранних стадиях трансформации нефтяного загрязнения наиболее активными процессами являются испарение и фотохимическое окисление нефти [Мишуков, 1997]. Установлена разная степень чувствительности НУ к микробиологическому воздействию. Другими словами, выявлена разная предпочтительность микрофлоры к отдельным классам НУ [Цыбань, Симонов, 1978].

6.2. Основные задачи данного исследования с помощью математической модели

Первые океанографические исследования на шельфе о. Сахалин были проведены два столетия назад, а к настоящему времени выполнено в целом ~ 45 тыс. глубоководных наблюдений. Однако большая часть опубликованных теоретических обобщений, практических работ по систематизации информации, а так-

же моделированию была выполнена преимущественно для Охотского моря в целом, тогда как шельфовые зоны исследованы лишь фрагментарно.

В связи с изложенным выше чрезвычайно актуальным представляется с помощью математического моделирования исследовать современное состояние морской среды и возможности ее самоочищения до начала интенсивной промышленной эксплуатации шельфовых участков о. Сахалин. Задачи данного исследования состояли в оценке потенциальной самоочищающей способности морской среды и фоновых концентраций НУ в водах зал. Анива с помощью математического моделирования. Анализ литературы показал, что наиболее долгосрочными процессами, влияющими на распределение и скорость трансформации НУ, можно считать перенос водными массами и бактериальное разложение растворенных компонентов НУ. Поэтому в дальнейшем при моделировании условий трансформации НУ в морской среде в первом приближении мы будем учитывать именно эти фракции НУ и указанные процессы, которые в итоге являются важнейшими в определении конечной судьбы НУ при их попадании в морскую среду.

На гидроэкологической CNPSi-модели [Леонов, Сапожников, 1997] были воспроизведены по среднемноголетним для залива океанографическим характеристикам условия биотрансформации органогенных веществ, возможного загрязнения этой акватории НУ и их внутригодовой трансформации в естественной морской среде. Для оценки поступления НУ использовалась литературная информация (табл. 6.1). Таким образом, впервые для условий о. Сахалин рассматривается задача одновременного учета развивающихся процессов, связанных с поступлением, переносом и биотрансформацией НУ в морской среде.

6.3. Районирование акватории зал. Анива

Объектом исследования выбран зал. Анива – наиболее океанографически изученная прибрежная зона о. Сахалин. За последние полвека в зал. Анива на стандартных разрезах было выполнено > 6 тыс. гидрологических станций (из них ~ 2 тыс. в бух. Лососей, расположенной в вершине залива). Важно также, что на побережье залива совсем недавно проводились крупномасштабные строительные работы по возведению терминалов для бункеровки нефтяных супертанкеров и СПГ-завода.

Рекогносцировочные исследования трансформации и переноса БВ в прол. Лаперуза [Пищальник, Леонов, 2003], выполненные на основе информационно-аналитической ГИС «Сахалинский шельф» [Пищальник, Бобков, 2000], показали, что представление о заливе как о районе антициклонического круговорота с опусканием вод в его центре неполное и что океанографические условия в разных частях зал. Анива имеют отличительные особенности. Пространственная неоднородность зал. Анива была подтверждена данными наблюдений в течение нескольких тематических съемок (по 20–25 станций) в 2001–2002 гг. Поэтому для большей детализации было проведено дополнительное районирование залива по характерным особенностям годового хода температуры воды на стандартных станциях на основе учета сроков наступления температурного максимума и по его абсолютной величине в поверхностном слое. При этом также учитывался сезонный характер пространственного распределения планктонных организмов [Брагина, 2002].

В результате анализа собранной информации было получено пять устойчивых классов станций, картирование которых позволило выделить участки и

провести между ними условные границы (рис. 6.1). Морфометрические характеристики указанных участков приведены в табл. 6.2. Отметим их некоторые характерные особенности.

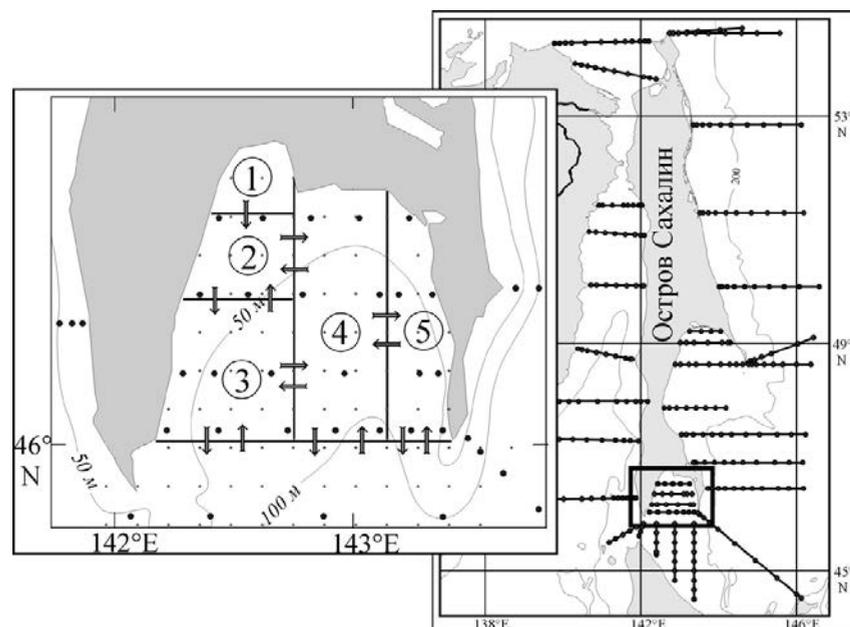


Рис. 6.1. Изученность шельфовой зоны о-ва Сахалин и зал. Анива и подразделение последнего на участки 1–5

Таблица 6.2

Морфометрические характеристики выделенных участков в зал. Анива

№ участка	1	2	3	4	5
Средняя глубина, м	16.4	25.7	50.6	65.1	48.7
Площадь зеркала, км ²	429	600	1600	2010	1170
Объем вод, км ³	7.6	19.7	84.7	135.4	58.8

Участок 1 (бух. Лососей) – самый мелководный, на который приходится > 50 % речного стока всего залива. Влияние речного стока здесь особенно заметно из-за мелководности, вследствие чего в течение года уровень воды в бухте несколько выше, чем в заливе в целом. Это самая распресненная часть зал. Анива, и здесь по всем показателям наблюдаются наиболее резкие отличия от других участков. Интенсивное конвективное и ветровое перемешивание водных масс очень быстро приводит к выравниванию по вертикали и горизонтали гидрологических и гидрохимических параметров. Только в апреле в период

начала интенсивного прогрева вод в этом районе можно выделить два самостоятельных слоя – верхний (прогретый) и нижний (охлажденный).

Участок 2 расположен к югу от бух. Лососей, сюда направлен постоянный приток воды из бухты. Характеризуется четко выраженным водообменом с соседними участками 3 и 4. В весенний период (апрель–июнь) в процессе прогрева воды на участке 2 отчетливо прослеживается термоклин и выделяются два слоя. По окончании весеннего прогрева весь столб воды становится однородным с хорошим перемешиванием вод по вертикали.

Участок 3 (юго-западная часть залива) имеет свободный водообмен с открытой частью прол. Лаперуза. Характеризуется поступлением вод преимущественно из пролива, которое непосредственно влияет на гидролого-гидрохимический режим данной акватории.

Участок 4 – центральная и наиболее глубоководная часть зал. Анива. Отличительная особенность его режима – характерное опускание вод в центре антициклонического круговорота и максимальное заглупление термоклина (до горизонта 60–70 м). Так как на берегу на этом участке уже возведен СПГ-завод, а в прибрежной зоне построены причалы для крупнотоннажных судов, то для этого участка в расчетах задано возможное минимальное антропогенное загрязнение морской среды НУ (например, за счет потерь, которые неизбежны при операциях по переработке и транспортировке нефти в морских условиях), учтено и возможное поступление НУ при переносе из соседних акваторий.

Участок 5 расположен вдоль западного побережья Тонино-Анивского п-ова. Характеризуется наличием постоянного апвеллинга вод в безледный период, что отчетливо выражается в абсолютных значениях температуры воды. Также важно, что из этого региона идет преимущественный отток воды в прол. Лаперуза (рис. 6.1).

6.4. Входные данные для расчетов на модели

Среднемноголетние значения гидрологических и гидрохимических параметров морской среды зал. Анива были оценены с помощью ГИС «Сахалинский шельф» [Пищальник, Бобков, 2000] и работы [Научно-прикладной..., 1990]. Особенности подготовки исходных данных для расчета средних значений параметров, а также заложенных в данную систему методов обработки информации обсуждаются в [Пищальник, 1997; Пищальник, Архипкин, 2000]. Подобная методика подготовки исходной информации уже была использована и показала свою состоятельность при изучении условий трансформации и оценки переноса веществ в прол. Лаперуза с помощью методов моделирования [Пищальник, Леонов, 2003].

Основные параметры состояния водной среды, необходимые для реализации модели, представлены в табл. 6.3. Из нее следует, что в результате осенне-зимней конвекции в январе–марте воды хорошо перемешаны практически до дна на всей акватории залива. На участке 1 лишь в апреле отмечено формирование термоклина на 10 м. На участке 2 период выраженного термоклина на 20 м сохраняется с апреля по июнь, а на участке 3 – с апреля (20 м) по июль (40 м). На участках 4 и 5 образовавшийся в апреле на 20 м термоклин сохраняется до декабря (на 50 и 40 м соответственно).

Среднемноголетние значения температуры воды в поверхностном слое на участке 1 сохраняют отрицательные значения с января (–1.1 °С) по апрель

(-0.1 °С), а на участках 2–5 – с января по март (-1.5...-0.8 °С). Прогрев вод в бухте Лососей начинается с мая, а на участках 2–5 – с апреля. Наибольшая температура поверхностного слоя здесь отмечена в октябре (12.5 °С), на участках 2–5 – в августе (12.4, 13.0, 12.8 и 11.6 °С соответственно). Среднемноголетние температуры поверхностного слоя в декабре на участках 1–5 остаются еще положительными (1.0–1.3 °С).

Температура воды подповерхностного слоя на всей акватории зал. Анива в апреле отрицательна (-0.8...-0.4 °С). Прогрев подповерхностных вод летом происходит очень медленно, и наибольшие температуры воды на участках 4 и 5 достигаются к ноябрю (4.3–4.4 °С), а в декабре отмечено охлаждение вод до 1.5–1.9 °С.

Среднемноголетние значения освещенности поверхности моря и фотопериода (или продолжительности светового дня) приняты одинаковыми для всех участков и взяты из [Научно-прикладной..., 1990]. Наибольшие значения указанных показателей отмечены в мае – июле, а наименьшие – в январе и декабре (табл. 6.3).

Оцененные для участков 1–5 значения прозрачности водной среды меняются от 1 до 10 м, они наименьшие во всех регионах в феврале–марте и наибольшие в сентябре–декабре (табл. 6.3).

Таблица 6.3

**Среднемноголетние значения параметров морской среды
по месяцам для участков 1–5 в зал. Анива
(температура: в числителе – значения для верхнего слоя,
в знаменателе – для нижнего)**

(Глубина залегания термоклина и температура воды оценены с помощью ГИС «Сахалинский шельф», данные по освещенности и фотопериоду взяты из работы [Научно-прикладной справочник..., 1990]. Здесь и в табл. 6.4 нижний слой не выделялся).

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глубина термоклина, м												
1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	20	30	30	40	0	0	0	0	0
4	0	0	0	20	30	30	40	40	50	50	50	50
5	0	0	0	20	30	30	40	40	40	40	40	40
Температура, °С												
1	-1.1 –	-1.3 –	-0.8 –	1.3 -0.8	4.3 –	6.7 –	11.1 –	12.1 –	12.2 –	12.5 –	6.3 –	1.0 –
2	-1.0 –	-1.4 –	-1.4 –	0.9 -0.4	3.5 -0.1	7.0 1.3	9.8 –	12.4 –	9.8 –	6.5 –	4.9 –	1.1 –
3	-0.7 –	-1.3 –	-1.4 –	0.5 -0.4	3.4 0.4	6.9 1.5	10.3 1.2	13.0 –	11.0 –	8.6 –	4.8 –	1.2 –
4	-0.7 –	-1.4 –	-1.4 –	0.6 -0.7	3.3 0.2	6.8 1.3	9.5 1.1	12.8 1.7	11.2 1.33	8.6 3.0	4.7 4.4	1.3 1.9
5	-0.8 –	-1.4 –	-1.5 –	0.4 -0.8	3.1 0.1	6.5 1.0	9.2 0.7	11.6 1.1	10.6 1.1	8.4 3.5	4.5 4.3	1.0 1.5

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Освещенность, кал/(см² сут)												
1–5	112.9	142.8	209.7	266.7	274.2	300.0	274.2	258.1	250.0	161.0	150.0	112.9
Фотопериод												
1–5	0.34	0.41	0.49	0.59	0.64	0.69	0.67	0.60	0.52	0.44	0.36	0.34
Прозрачность, м												
1	5	2	2	5	5	5	5	6	8	8	9	10
2	5	1	1	5	5.8	5.5	6.5	8	8	8	9	10
3	5	1	1	5	6	6	7.3	8.5	8.6	8.8	8	10
4	5	1	1	5	6	7	7.5	8	7.8	7.5	7	10
5	5	2	1.5	6	6.3	6.5	7.2	8	7.7	7.4	7	10

Для расчетов на экологической модели были оценены значения переноса водных масс через границы участков 1–5. Несмотря на известные недостатки динамического метода для расчета циркуляции вод на мелководье, именно этим методом в квазигеострофическом приближении (по среднемноголетним ежемесячным значениям плотности воды) первоначально были оценены значения переноса водных масс для двуслойной системы зал. Анива. Суммарные значения переноса воды, вычисленные этим методом, оказались явно завышенными. Например, расход воды через входной разрез м. Анастасия – м. Анива в отдельные месяцы был выше более чем в полтора раза, чем объем воды в заливе. Ясно, что при подобных оценках требуются уточнения самой методики расчета.

Принимая во внимание, что зал. Анива является полузамкнутой акваторией, было решено повторно рассчитать значения переноса воды в нем по среднемноголетнему изменению уровня моря. Согласно [Поезжалова, Шевченко, 1997], максимальный среднемноголетний уровень моря на станциях наблюдений в г. Корсакове и м. Крильон отмечается в январе, а минимальный – в августе (размах колебаний соответственно 18 и 20 см). С учетом площади зеркала залива 5800 км² получим, что при изменении уровня моря на 1 см изменение объема воды в нем составит 0.052 км³. При таких порядках величин большое влияние на значения расходов воды будут оказывать величины речного стока, атмосферных осадков, испарения и изменения объемов воды в заливе за счет ее термического прогрева, что в сумме сопоставимо с полученными ранее значениями расходов воды [Пищальник, 1990].

Годовой ход величин атмосферных осадков и испарения был пропорционально вычисленному модулю стока. Приращение объемов вод рассчитывалось по средневзвешенной температуре слоя до границы слоя скачка плотности воды (оценивается суммарно по гало- и термоклин) для каждого месяца. Таким образом, итоговые величины расходов воды подсчитывались алгебраическим сложением составляющих, характеризующих перечисленные выше процессы. Полученная конечная кривая годового хода расходов воды, вычисленная по приращению уровня моря, в целом качественно повторяла картину внутригодового хода расходов воды, оцененных в квазигеострофическом приближении. Это дало основание считать, что расходы воды через границы участков внутри залива следует вычислять пропорционально значениям, рассчитанным в квазигеострофическом приближении.

Полученные по такой методике величины суммарного переноса воды по слоям приведены в табл. 6.4. Они хорошо согласуются с уточненными представлениями об общей циркуляции вод в зал. Анива и подтверждают вывод о том, что общий характер антициклонической циркуляции вод в заливе нарушается только в зимние месяцы [Пищальник и др., 2005]. Однако при оценке потоков вещества через границы участков необходимо учитывать, что расходы воды рассчитаны только по величинам суммарных переносов. Отметим, что именно по этой причине существенно отличаются полученные подобным методом значения расходов воды на границах участков 1–5 внутри зал. Анива и рассчитанные балансовым методом для разных акваторий прол. Лаперуза [Пищальник и др., 2005].

Таблица 6.4

Среднегодовое ежемесячные значения расходов воды на границах участков 1–5 (числитель – значения для верхнего слоя, знаменатель – для нижнего), речной сток, обмен с внешними акваториями (прол. Лаперуза) и перенос по вертикали (все км³)

Перенос из	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 ⇒ 2	<u>0.033</u> –	<u>0.008</u> –	<u>0.091</u> –	<u>0.62</u> 0.068	<u>1.533</u> –	<u>0.49</u> –	<u>0.519</u> –	<u>0.57</u> –	<u>0.082</u> –	<u>0.447</u> –	<u>0.275</u> –	<u>0.009</u> –
2 ⇒ 3	<u>0.022</u> –	<u>0.03</u> –	<u>0.128</u> –	<u>0.1</u> 0.3	<u>0.3</u> 0.1	<u>0.27</u> 0.03	<u>0.1</u> –	<u>0.1</u> –	<u>0.936</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.27</u> –	<u>0.0</u> –
2 ⇒ 4	<u>0.03</u> –	<u>0.01</u> –	<u>0.026</u> –	<u>0.45</u> 0.023	<u>1.553</u> 0.0	<u>0.331</u> 0.0	<u>0.561</u> –	<u>0.62</u> –	<u>0.10</u> –	<u>0.554</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –
3 ⇒ 2	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.02</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –
3 ⇒ 4	<u>0.021</u> –	<u>0.029</u> –	<u>0.07</u> –	<u>0.30</u> 0.282	<u>0.482</u> 0.30	<u>0.30</u> 0.128	<u>0.20</u> 0.047	<u>0.24</u> –	<u>0.159</u> –	<u>0.20</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –
4 ⇒ 2	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.018</u> 0.0
4 ⇒ 3	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.11</u> 0.132	<u>0.05</u> 0.038
4 ⇒ 5	<u>0.004</u> –	<u>0.001</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.4</u> 0.646	<u>1.288</u> 0.9	<u>0.567</u> 0.2	<u>0.7</u> 0.077	<u>0.8</u> 0.8	<u>0.034</u> 0.4	<u>0.41</u> 0.393	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.105</u> 0.018
5 ⇒ 4	<u>0.0</u> –	<u>0.0</u> –	<u>0.022</u> –	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.014</u> 0.012	<u>0.0</u> 0.0
Речной сток:												
1	0.1	0.1	0.1	1.0	2.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.5	0.4	0.2
Обмен (поступление/вынос) с внешней акваторией прол. Лаперуза (верхний слой):												
3	<u>0.0</u> 0.044	<u>0.0</u> 0.093	<u>0.0</u> 0.2	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.016	<u>0.0</u> 0.02	<u>0.0</u> 0.033	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.1</u> 0.0	<u>0.2</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.53	<u>0.0</u> 0.0
4	<u>0.0</u> 0.094	<u>0.0</u> 0.158	<u>0.0</u> 0.28	<u>0.0</u> 0.022	<u>0.0</u> 0.166	<u>0.0</u> 0.033	<u>0.0</u> 0.02	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.08</u> 0.0	<u>0.14</u> 0.0	<u>0.3</u> 0.0	<u>0.26</u> 0.0
5	<u>0.0</u> 0.035	<u>0.0</u> 0.067	<u>0.0</u> 0.084	<u>0.0</u> 1.0	<u>0.0</u> 1.422	<u>0.0</u> 0.6	<u>0.0</u> 0.8	<u>0.0</u> 0.95	<u>0.0</u> 0.7	<u>0.0</u> 0.3	<u>0.03</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.054
Обмен (поступление/вынос) с внешней акваторией прол. Лаперуза (нижний слой):												
3	–	–	–	<u>0.0</u> 0.008	<u>0.0</u> 0.014	<u>0.0</u> 0.011	<u>0.0</u> 0.002	–	–	–	–	–

Перенос из	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
4	–	–	–	<u>0.0</u> 0.03	<u>0.0</u> 0.034	<u>0.0</u> 0.027	<u>0.0</u> 0.02	<u>0.0</u> 0.0	<u>0.017</u> 0.0	<u>0.02</u> 0.0	<u>0.034</u> 0.0	<u>0.088</u> 0.0
5	–	–	–	<u>0.0</u> 0.2	<u>0.0</u> 1.1	<u>0.0</u> 0.3	<u>0.0</u> 0.1	<u>0.0</u> 0.05	<u>0.0</u> 0.1	<u>0.0</u> 0.53	<u>0.007</u> 0.0	<u>0.0</u> 0.006
Обмен по вертикали в акваториях:												
1	–	–	–	0.2	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	0.1	0.1	0.1	–	–	–	–	–	–
3	–	–	–	0.1	0.1	0.1	0.1	–	–	–	–	–
4	–	–	–	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	–	–	–	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Анализ полученных расчетных значений расходов воды на границах выделенных участков 1–5 показывает, что внутри залива повышенные расходы воды характеризуют границы между участками 1 и 2, 2 и 4, 4 и 5. Несколько меньше водообмен на границе между участками 3 и 4. Лишь в декабре происходит слабовыраженный обмен на границах участков 4 и 2. Только в ноябре имеет место водообмен на границах участков 4 и 3, а также 5 и 4. Повышенные значения переноса на всех границах отмечены в мае в период весеннего половодья (табл. 6.4).

Поступление вод в зал. Анива из прол. Лаперуза в поверхностном слое отмечается на участках 3 и 4 только в сентябре–ноябре, а на участке 5 – только в ноябре. В остальные месяцы направления переноса вод меняются на противоположные, а в отдельные месяцы этот водообмен в поверхностном слое отсутствует.

В нижнем слое в январе–марте на границах участков 3, 4 и 5 с прол. Лаперуза водообмена нет. Отсутствует он и с августа по декабрь на границе участка 3 с прол. Лаперуза. Поступление вод из прол. Лаперуза на участок 4 отмечено в сентябре–декабре, а на участок 5 – в ноябре.

В нижнем слое вынос вод в прол. Лаперуза из участков 3 и 4 происходит в апреле–июле, а из участка 5 – с апреля по октябрь и в декабре (табл. 6.4).

К сожалению, в литературе нет достаточной информации о поступлениях, содержании и распределении НУ по акватории залива. Есть только фрагментарные оценки [Патин, 1997; Пищальник, 1986]. Для участков 1–5 зал. Анива в проведенных расчетах были приняты во внимание следующие типичные источники загрязнения морской среды (табл. 6.1):

– участок 1 (бух. Лососей) – основное загрязнение этой акватории соединениями биогенных элементов и НУ происходит с речным стоком. Принятые в данной работе показатели стока рек учитывают многоводный режим [Леонов, Пищальник, 2005]. Содержание НУ в речной воде, определяющее антропогенную нагрузку на морскую среду залива (для января–марта в пределах 1–2 ПДК, апреля–мая – 5–6 ПДК, июня–декабря – 4 ПДК), учитывает повышенное состояние загрязнения речных вод, исходя из имеющихся в литературе данных [Патин, 2001; Пищальник, 1986; Шапоренко, 1997];

– участки 2, 3, 5 – предусмотрена возможность естественного выхода НУ из донных отложений (скорости порядка 0.001–0.01 мг/(л сут)) и поступления НУ в водную среду за счет процессов переноса из открытой части прол. Лаперуза, а также из соседних акваторий;

– участок 4 – задано возможное минимальное антропогенное загрязнение морской среды (порядка 0.01 мг/(л сут)), например, за счет потерь НУ, которые неизбежны при операциях по переработке и транспортировке нефти в морских условиях, а также переноса из соседних акваторий.

Отметим, что нагрузка по НУ на отдельные акватории зал. Анива подбиралась в серии численных экспериментов на модели с учетом имеющихся оценок, полученных для разных районов Мирового океана (табл. 6.1). Были выбраны такие значения скоростей поступления НУ в морскую среду, при которых в воде залива летом–осенью их содержание было не > ПДК, что отмечается имеющимися в литературе оценками [Патин, 2001].

Уравнения модели решались методом Рунге–Кутты-4 (шаг по времени 0.05 сут). Расчеты выполнялись для календарного года (1 января – 31 декабря) по оцененным среднесезонным показателям состояния водной среды для каждого месяца (температура, освещенность, прозрачность водной среды, режим водообмена между участками 1–5) [Леонов, Пищальник, 2005].

6.5. Расчетное поступление биогенных веществ с речным стоком в бухту Лососей

Поступление БВ с речным стоком в зал. Анива учитывалось только для бух. Лососей, в которую перемещается основной объем речной воды, сопоставимый с объемом воды в самой бухте [Пищальник, 1990], на участках 2–5 отношение объемов речного стока к объемам вод ничтожно мало, и поэтому в этих акваториях влияние речного стока можно не учитывать.

С помощью моделирования по заданным концентрациям БВ оценивалось ежемесячное их поступление с речным стоком на участок 1. При этом можно выделить следующие особенности:

– основное (~ 60–70 %) поступление БВ с речным стоком происходит в апреле–июне; зимой и летом оно наименьшее; в октябре–ноябре оно несколько выше, чем зимой и летом;

– в апреле–мае поступление DIP составляет 0.0043–0.0090 мг P/(л мес.), DON – 0.165–0.251 мг N/(л мес.), ND – 0.025–0.040; NO₂ – 0.0026–0.0030; NO₃ – 0.022–0.046 мг N/(л мес.), DOC – 1.08–1.95 мг C/(л мес.); DISi⁴ – 0.12–0.18 мг Si/(л мес.); O₂ – 1.6–2.8 мг O₂/(л мес.);

– в апреле–июне поступление DOP 0.0030–0.0051 мг P/(л мес.), PD – 0.0033–0.0056 мг P/(л мес.);

– вынос с речным стоком NH₄ в апреле–мае наибольший и составляет 0.0092–0.0109, в октябре–ноябре он ниже, чем весной, но выше, чем зимой и летом, и составляет 0.0065–0.0078 мг N/(л мес.);

– зимой и летом вынос в бух. Лососей с речным стоком DIP – 0.0002–0.0010; DOP – 0.0002–0.0013; PD – 0.0001–0.0015 мг P/(л мес.), DON – 0.005–0.060; NH₄ – 0.0010–0.0035; NO₂ – 0.00010–0.00065; NO₃ – 0.002–0.004; ND – 0.002–0.010 мг N/(л мес.); DOC⁵ – 0.08–0.56 мг C/(л мес.); DISi – 0.008–0.043 мг Si/(л мес.); O₂ – 0.15–0.75 мг O₂/(л мес.).

⁴ DISi – растворенный неорганический Si, в уравнениях CNPSi-модели применялось его обозначение SiO₄ (главы 1–5).

⁵ DOC – растворенный органический C, в уравнениях CNPSi-модели его обозначение CORG (главы 1–5).

6.6. Анализ расчетной динамики концентраций биогенных веществ

Содержание DIP на всех участках с начала года возрастает и в марте–апреле достигает максимума. Наибольшее содержание DIP (~ 50 мкг P/л) отмечается в бух. Лососей, на других участках оно ниже и колеблется в диапазоне 36–40 мкг P/л. Интенсивное весеннее снижение концентрации DIP на участке 2 начинается с начала апреля, на других участках – на месяц позже. К концу июня – началу июля содержание DIP на всех участках снижается до минимума (0.5–1 мкг P/л), и такие низкие концентрации DIP сохраняются до конца октября (участок 1) и конца ноября (участки 2–5). К концу года содержание DIP в водной среде начинает увеличиваться, особенно это выражено в зоне апвеллинга вод на участке 5 (рис. 6.2).

В годовой динамике DOP отмечаются существенные отличия в отдельных районах. С начала года содержание DOP на всех участках возрастает и достигает в апреле–мае максимума, наибольшего (37,5 мкг P/л) на участке 2. В других районах оно в этот период составляет 26–29 мкг P/л. К концу мая содержание DOP в водах бух. Лососей начинает быстро снижаться, и к началу июня оно падает до 3 мкг P/л. В других районах период интенсивного весеннего уменьшения концентрации DOP отмечается в начале июля. В августе–сентябре содержание DOP на всех участках меняется в диапазоне ~1–10 мкг P/л (наименьшее оно в водах участка 4, а наибольшее – на участке 5). В этот период основные колебания концентрации DOP связаны с активным развитием продукционных процессов, формирующих летний промежуточный максимум концентрации DOP на участках 1–3 и 5. К концу года содержание DOP начинает возрастать, причем это возрастание довольно интенсивное на участках 3 и 5 и медленное на участках 1, 2 и 4.

В динамике детритного P отмечаются его постепенное повсеместное снижение в зимнее время и промежуточный весенне-летний максимум, связанный с активизацией развития гидробионтов. Наибольшие концентрации PD достигаются в конце июня – начале июля на участке 4 (~21 мкг P/л). Однако уже к концу июля содержание PD во всех районах снижается, но через неделю на участках 3 и 5 снова возрастает, причем это увеличение прослеживается до конца года как следствие интенсификации процессов апвеллинга в этих районах. Вынос БВ в поверхностные слои в результате процессов апвеллинга вод приводит к активизации развития гидробионтов и к интенсивному детритообразованию. В других районах содержание детрита осенью и до конца года меняется в относительно небольшом интервале (~ 5–8 мкг P/л) (рис. 6.2).

В годовой динамике концентраций минеральных форм N в разных районах зал. Анива отмечаются общие тенденции: возрастание их содержания в воде зимой, резкое снижение с конца марта и в апреле, минимальные концентрации в мае–июне, низкое содержание в июле, увеличение за счет регенерационных процессов в августе–сентябре и накопление к концу года. Однако выраженность этих тенденций проявляется на участках 1–5 по-разному, с некоторым сдвигом во времени в пределах одного месяца (рис. 6.3).

В динамике NH₄ наибольшая концентрация (64 мкг N/л) отмечается в водах бух. Лососей и достигается она к середине апреля. Также повышена она в это время и на участке 2 (34 мкг N/л), тогда как на участках 3–5 концентрация NH₄ существенно ниже (15–16 мкг N/л). После весеннего минимума в июле–августе содержание NH₄ возрастает в водной среде повсеместно до 3–5 мкг N/л и в последующие месяцы колеблется в пределах 1–3 мкг N/л. К концу года начинается его возрастание, которое быстрее проходит в водах бух. Лососей (здесь к концу года оно увеличивается до 17 мкг N/л), в других районах осенью–в начале зимы содержание NH₄ увеличивается медленнее.

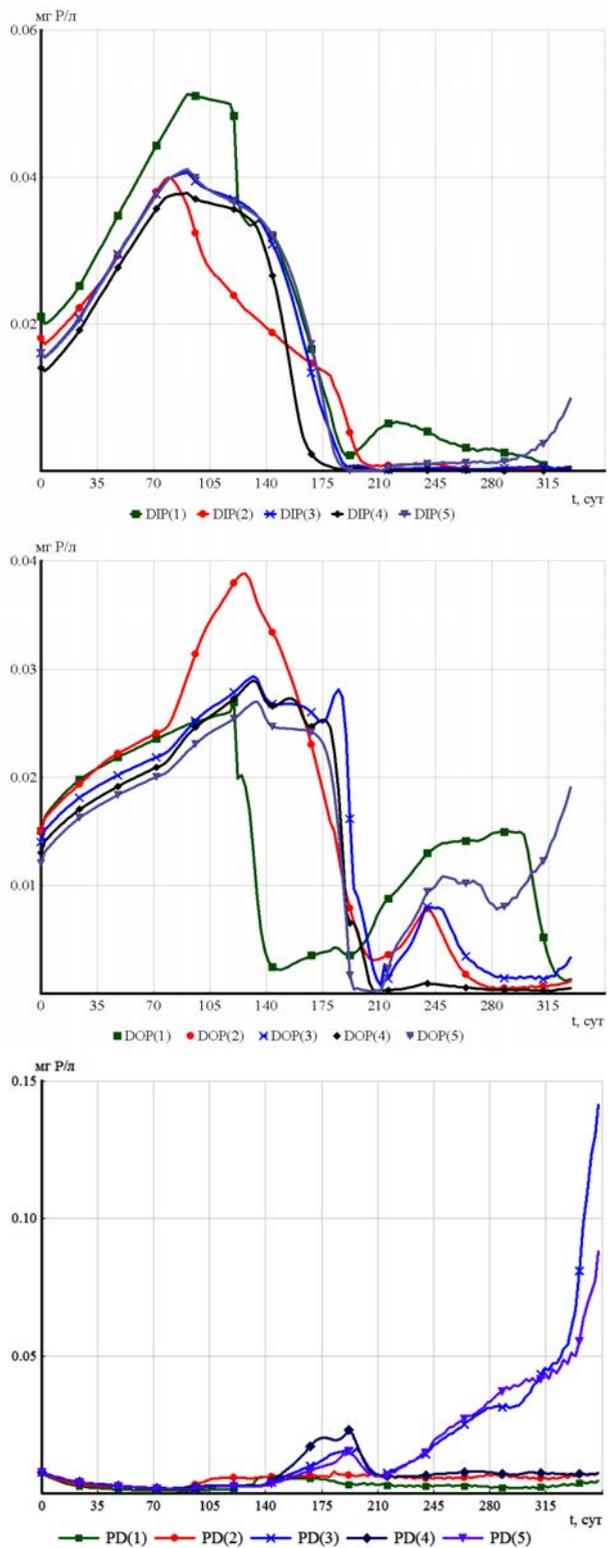


Рис. 6.2. Расчетная динамика концентраций форм P (DIP, DOP, PD) на участках 1–5 зал. Анива

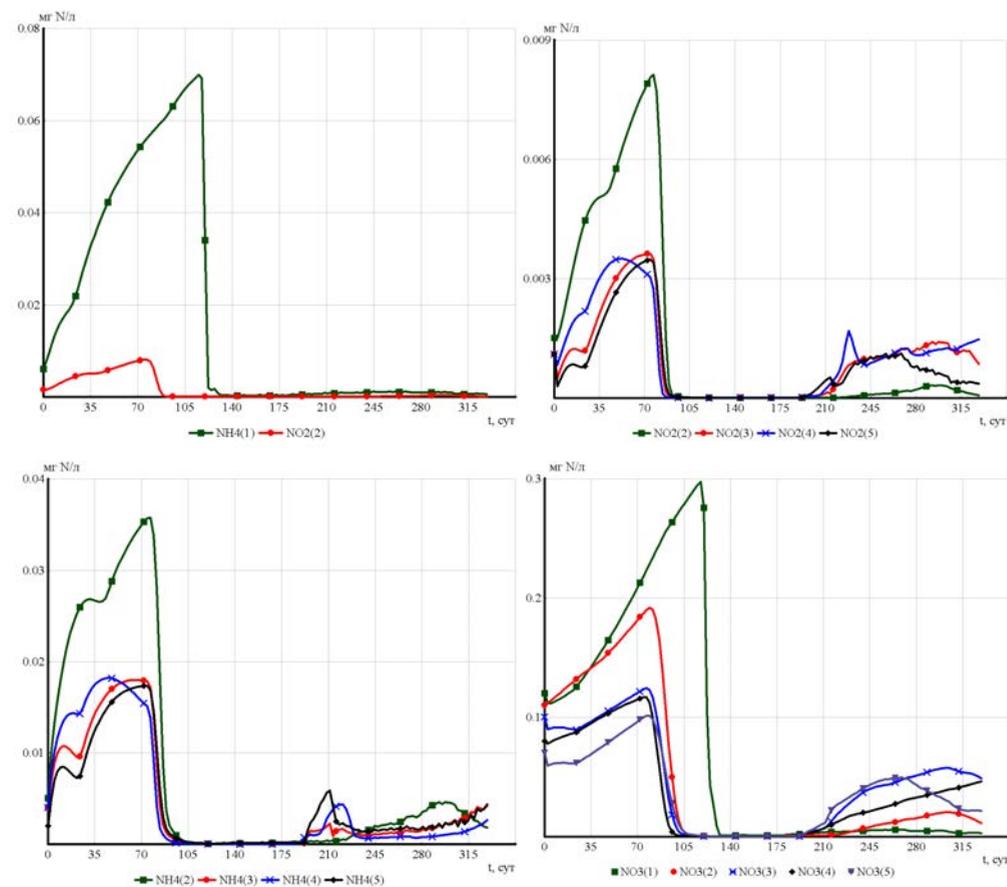


Рис. 6.3. Расчетная динамика концентраций минеральных форм N: NH_4 и NO_2 – для участка 1; NH_4 и NO_2 – для участков 2–5 и NO_3 – для участков 1–5 зал. Анива

В водах бух. Лососей в апреле повышено также содержание NO_2 (16 мкг N/л), оно ниже на участке 2 (7.5 мкг N/л), а в других районах – 3.0–3.2 мкг N/л. После весеннего минимума нитритов в августе–сентябре их содержание в водах участков 3–5 увеличивается до 1 мкг N/л. На участке 2 оно в этот период составляет 0.2–0.3 мкг N/л и остается низким до конца года. В водах бух. Лососей к концу декабря содержание NO_2 возрастает до 1–2 мкг N/л.

К концу марта отмечается повышение концентрации NO_3 в водах участков 3–5 до 0.10–0.12 мг N/л, а на участке 2 – до 0.18 мг N/л. Однако уже в начале апреля содержание NO_3 в водах участков 2–5 резко снижается до весеннего минимума. В водах бух. Лососей от марта к апрелю содержание NO_3 возрастает, при этом к середине апреля достигается его наибольшая концентрация (0.275 мг N/л), однако в конце месяца оно резко снижается до минимума. В конце июля за счет процессов регенерации БВ содержание NO_3 на всех участках начинает увеличиваться и в сентябре–октябре на участках 3–5 колеблется в пределах 0.05–0.07 мг N/л. К концу года содержание NO_3 в водах участков 1, 3 и 4 увеличивается до 0.04–0.05 мг N/л, на участках 2 и 5 оно ниже и составляет 0.010–0.015 мг N/л (рис. 6.3).

Зимой содержание DON в воде постепенно возрастает и к концу апреля достигает максимума (в водах бухты Лососей – до 0.62 мг N/л, на участках 2–5 – 0.35–0.40 мг N/л). В конце апреля–начале мая содержание DON повсеместно снижается. Во второй половине года содержание DON начинает возрастать: в бухте Лососей – с середины июня, на участках 2–5 – с середины июля. К концу года устанавливаются характерные для каждого района концентрации DON, отвечающие сложившимся равновесным условиям трансформации БВ: наиболее высокие (1.6 мг N/л) в бух. Лососей, средние (0.81) на участке 2 и пониженные (0.2–0.5 мг N/л) на участках 3–5 (рис. 6.4).

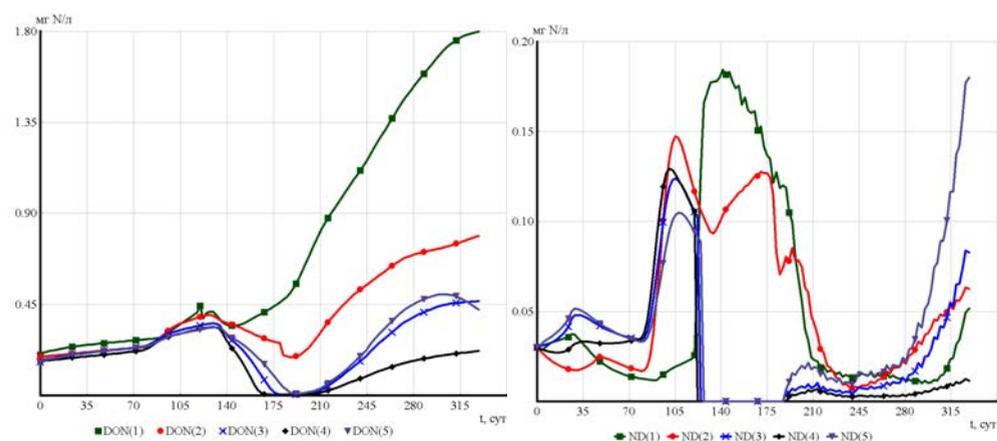


Рис. 6.4. Расчетная динамика концентраций органических форм N (DON и ND) для участков 1–5 зал. Анива

В годовой динамике ND в каждом районе обнаруживаются специфические отличия. В январе–феврале содержание ND меняется на участках 1–5 в пределах 20–50 мкг N/л. В марте отмечено возрастание концентрации ND на участках 2–5 (до 0.10–0.14 мг N/л). В бух. Лососей такая тенденция изменения концентрации ND с начала года смещена по времени на месяц-полтора, и наибольшее содержание ND достигается к середине мая (0.262 мг N/л). В июне–июле оно на участках 1 и 2 снижается, а на участках 3–5 уже достигает своих минимальных значений. В июле–сентябре содержание ND на всех участках сопоставимо и колеблется в пределах 5–10 мкг N/л. В октябре оно начинает возрастать и к концу года наибольшее на участке 5 (0.24 мг N/л). На участках 2–3 достигаются значения 0.07–0.10 мг N/л, а на участках 1 и 4 – 0.010–0.017 мг N/л (рис. 6.4).

Отмечается несколько характерных периодов резких изменений концентраций DISi на участках 1–5. Наиболее выражены их флуктуации в водах бух. Лососей, меньшая их амплитуда характерна для участка 2 и еще меньшая – для участков 3–5. В начале года во всех районах зал. Анива содержание DISi снижается, это совпадает с зимним максимумом развития диатомовых водорослей. С середины января содержание DISi в водной среде увеличивается, и уже в марте на участках 2–5 достигается его максимум (0.15–0.19 мг Si/л). В бух. Лососей максимум концентрации DISi отмечается в середине апреля (0.4 мг Si/л). В апреле начинается снижение концентрации DISi на участках 3–5 до 0.11–0.12, а на участке 2 – до 0.01 мг Si/л. В бух. Лососей весеннее снижение концентрации DISi происходит в мае: как и на участке 2, оно падает здесь до 0.01 мг Si/л, од-

нако почти сразу же начинает возрастать и уже в конце июня–начале июля составляет 0.38 мг Si/л. В последующие месяцы содержание DISi в бух. Лососей снижается и к концу года падает до 0.13 мг Si/л (рис. 6.5).

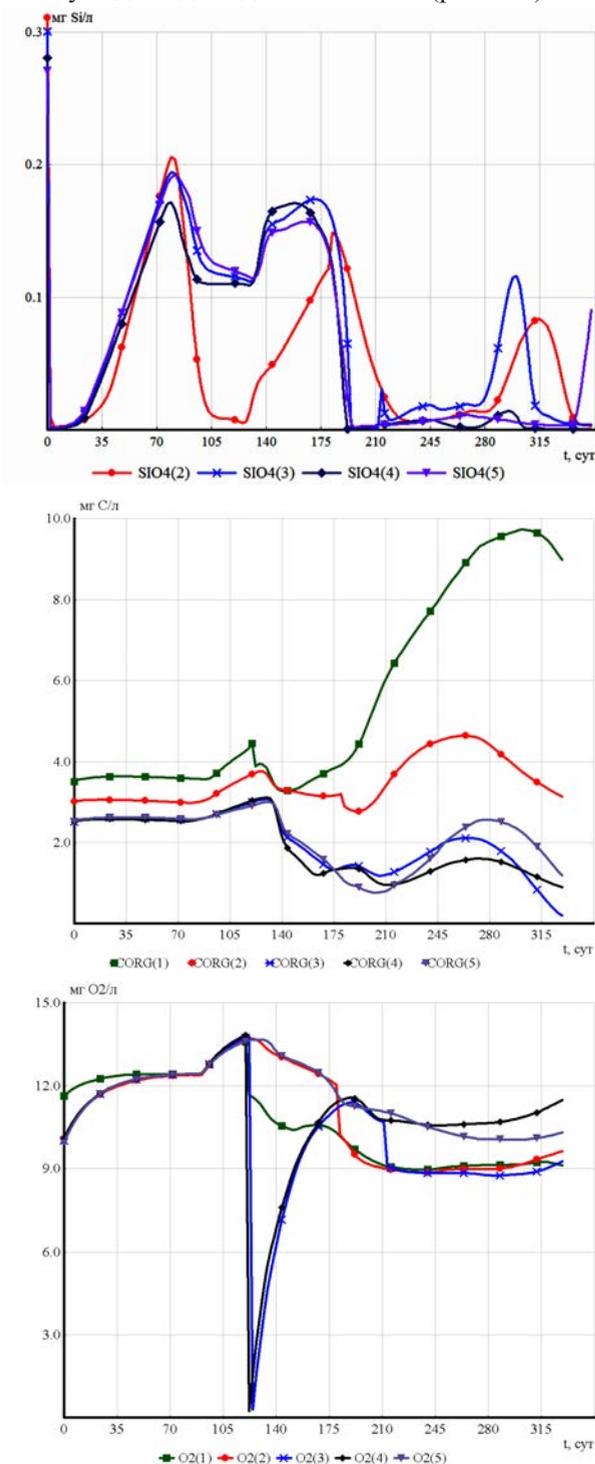


Рис. 6.5. Расчетная динамика концентраций DISi для участков 2–5, DOC и O₂ – для участков 1–5 зал. Анива

На участке 2 к началу июля отмечается достижение летнего максимума DISi (0.125 мг Si/л), далее концентрация DISi в этом районе снижается. На участках 3–5 летний максимум DISi отмечается в июне (0.15 мг Si/л), в начале июля содержание DISi в этих районах резко снижается. С августа–октября и до конца года содержание DISi на участках 2–5 колеблется в пределах 0.010–0.025 мг Si/л.

Содержание DOC в течение года в принципе повторяет тенденции изменчивости концентрации DON. Промежуточный весенний максимум DOC на участках 1, 2 и 3–5 составляет соответственно 5, 3.4 и 2.9 мг C/л. В сентябре отмечается осенний максимум DOC в бух. Лососей (8.2 мг C/л), в этот же период на участках 3 и 5 он составляет 2.6, а на участке 4 – 1.8 мг C/л. Летний максимум (4.8 мг C/л) на участке 2 отмечен в августе. К концу года содержание DOC начинает снижаться, и в каждом районе достигается свое характерное значение: на участках 1 и 2 – соответственно 7.2 и 3.7 мг C/л, на участках 3 и 5 – примерно равные концентрации (1.8), а на участке 4 – наименьшее содержание (1.4 мг C/л).

Концентрация растворенного O₂ от зимы к весне возрастает и в апреле повсеместно достигает 14 мг O₂/л. В конце апреля на участках 3 и 4 отмечено резкое снижение содержания O₂ в поверхностном слое (до 6.2–8 мг O₂/л) за счет того, что в указанных районах весной резко сокращается его содержание в придонных слоях. Также снижается его содержание в водах бух. Лососей: в августе оно здесь составляет 9.2 мг O₂/л, в сентябре после промежуточного максимума – 10.5, в октябре вновь снижается до 9.1, а к концу года возрастает до 10.1 мг O₂/л. На участке 2 августовский минимум O₂ (9.2 мг O₂/л) сменяется постепенным увеличением его концентрации к концу года до 10.9 мг O₂/л. На участках 3–5 летний минимум O₂ составляет 10.6–10.8, к концу года его содержание здесь возрастает до 12.4–12.6 мг O₂/л (рис. 6.5).

6.7. Сопоставление результатов моделирования с наблюдениями

Традиционно адекватность использованной математической модели изучаемому объекту проверяется сравнением расчетов с наблюдениями, чтобы выявить их соответствие или расхождение и показать, насколько имеющиеся различия в параметрах среды обитания (использованные для расчетов средне-многолетние их значения и значения в конкретных съемках разных лет) могут повлиять на внутригодовую изменчивость важнейших гидрохимических характеристик.

Сравнение данных моделирования, полученных в этом исследовании на основе среднесноголетних показателей состояния морской среды, с наблюдениями во время съемок, выполненных СахНИРО в 2001–2002 гг., за изменением содержания O₂, DIP, NO₂ и DISi в водах зал Анива (участки 2–5) показано в табл. 6.5. Здесь же приведены данные по температуре – во время разных съемок, а также использованные в расчетах на модели их среднесноголетние значения, полученные с помощью ГИС «Сахалинский шельф» [Пищальник, Бобков, 2000]. Для наблюдаемых характеристик в табл. 6.5 приведены диапазон их изменчивости во время съемок на участках 2–5 и средние для каждой съемки значения, оцененные с учетом числа выполненных станций на соответствующих участках зал. Анива. В целом сравнение наблюдений и расчетов практически охватывает полный годовой цикл (17 января – 16 ноября) (табл. 6.5).

Таблица 6.5

Сравнение условий в съемках 2001–2002 гг. по температуре воды, наблюдаемым и расчетным концентрациям химических веществ (над чертой – диапазон измеренных величин, под чертой – средние по наблюдениям значения; в скобках – расчет на модели; n – число станций)

Параметр	11.IV.2001 (101 сут)	15.VI.2001 (166 сут)	14.VIII.2001 (226 сут)	01.X.2001 (275 сут)	27.X.2001 (301 сут)	16.XI.2001 (320 сут)	17.I.2002 (17 сут)	02.IV.2002 (92 сут)	20.IV.2002 (110 сут)	07.VIII.2002 (219 сут)
		Участок 2 (n = 5)								
T, °C	-1.30 – 1.43 -0.33 (0.57)	-0.76 – 11.52 5.43 (5.76)	0.00 – 18.07 9.43 (11.36)	-0.68 – 12.21 7.7 (9.14)	4.64 – 10.23 9.2 (6.45)	3.52 – 7.86 6.82 (5.42)	-1.43 – 0.77 -1.08 (-1.1)	-0.54 – 1.86 0.69 (0.38)	-0.59 – 10.37 0.69 (0.77)	4.44 – 15.65 11.8 (10.75)
O ₂ , мг O ₂ /л	10.4 – 19.2 14.3 (13.5)	7.9 – 13.4 10.7 (12.7)	7.4 – 11.0 9.5 (9.4)	9.2 – 10.57 9.6 (9.7)	8.4 – 9.2 8.9 (10.28)	8.4 – 10.1 9.4 (10.6)	11.0 – 11.2 11.1 (11.82)	10.2 – 14.8 12.5 (12.44)	8.7 – 11.5 10.3 (13.14)	7.9 – 9.4 8.5 (9.57)
DIP, мг P/л	11.2 – 51.8 26.4 (29.2)	3.1 – 65.1 38.4 (15.5)	0.0 – 65.1 24.5 (1.0)	0.0 – 43.7 9.6 (0.1)	7.8 – 18.3 12.7 (0.2)	14.3 – 18.6 15.5 (0.7)	15.8 – 29.4 22.9 (20.3)	3.1 – 53.6 27.3 (36.1)	4.0 – 58.0 18.6 (20.4)	0.0 – 38.4 4.7 (1.6)
NO ₂ , мкг N/л	0.0 – 3.6 0.3 (0.0)	0.0 – 5.6 0.8 (0.0)	0.0 – 8.1 2.8 (0.0)	0.0 – 8.1 2.1 (0.1)	0.1 – 13.6 3.0 (0.2)	0.0 – 3.1 0.5 (0.1)	0.0 – 5.9 2.7 (3.5)	0.0 – 4.9 2.0 (0.1)	- (0.0)	- (0.0)
DISi, мкг Si/л	33 – 842 367 (24)	27 – 1042 410 (95)	50 – 339 150 (31)	123 – 278 186 (4)	294 – 527 378 (2)	20 – 829 195 (2)	143 – 330 282 (4)	297 – 455 395 (114)	216 – 882 365 (13)	76 – 557 193 (53)
	Участок 3 (n = 9)									
T, °C	-1.11 – 0.19 -0.47 (0.32)	0.86 – 11.10 6.2 (5.7)	-0.61 – 18.07 9.5 (11.9)	-0.68 – 13.52 9.54 (10.52)	2.74 – 10.37 9.09 (8.48)	3.52 – 8.16 6.49 (6.15)	-1.37 – -0.48 -0.91 (-0.8)	-0.5 – 1.23 0.43 (0.21)	-0.59 – 10.24 7.24 (0.43)	-0.20 – 15.45 11.1 (11.29)
O ₂ , мг O ₂ /л	11.0 – 13.2 12.8 (13.1)	10.2 – 13.3 11.7 (10.5)	7.1 – 11.7 9.7 (10.93)	9.0 – 10.6 9.6 (10.92)	8.4 – 9.2 8.9 (11.39)	7.9 – 9.5 8.9 (11.92)	10.9 – 11.4 11.07 (11.83)	12.0 – 13.8 12.4 (12.43)	8.7 – 11.8 10.8 (13.99)	8.0 – 9.1 8.7 (11.14)
DIP, мкг P/л	14.3 – 36.6 27.6 (39.5)	3.1 – 43.4 23.3 (15.6)	3.1 – 77.5 22.6 (0.2)	0.3 – 55.8 13.6 (0.2)	9.9 – 23.6 12.7 (0.2)	10.2 – 24.8 16.1 (0.7)	20.2 – 33.2 25.7 (18.7)	3.1 – 48.7 26.7 (40.5)	4.0 – 58.0 19.5 (37.8)	0.0 – 46.5 19.2 (1.5)
NO ₂ , мкг N/л	0.0 – 0.7 0.0 (0.0)	0.0 – 5.6 1.1 (0.0)	0.0 – 7.7 1.8 (1.2)	0.0 – 8.1 2.1 (1.3)	0.1 – 7.7 2.9 (1.6)	0.0 – 5.0 0.7 (0.7)	0.0 – 4.9 2.1 (1.2)	0.0 – 0.3 2.2 (0.0)	- (0.0)	- (0.6)

Пара-метр	11.IV.2001 (101 сут)	15.VI.2001 (166 сут)	14.VIII.2001 (226 сут)	01.X.2001 (275 сут)	27.X.2001 (301 сут)	16.XI.2001 (320 сут)	17.I.2002 (17 сут)	02.IV.2002 (92 сут)	20.IV.2002 (110 сут)	07.VIII.2002 (219 сут)
	DISI, мкг Si/л	211 - 587 364 (124)	29 - 518 127 (172)	66 - 353 127 (9)	120 - 320 168 (12)	283 - 515 367 (7)	20 - 1159 288 (3)	297 - 378 330 (4)	297 - 897 411 (152)	207 - 882 361 (119)
Участок 4 (n = 7)										
T, °C	-1.47 - 0.64 -0.59 (0.38)	-0.76 - 9.11 5.56 (5.56)	-0.91 - 18.10 10.23 (11.48)	-0.68 - 13.09 9.47 (10.68)	3.04 - 10.39 8.52 (8.47)	3.52 - 7.48 6.35 (5.96)	-1.16 - 0.50 -0.83 (-0.80)	-0.16 - 0.86 0.46 (0.23)	-0.59 - 10.11 6.98 (0.51)	-0.58 - 14.49 11.3 (10.71)
O ₂ , мгO ₂ /л	10.4 - 15.3 12.8 (13.53)	7.8 - 12.7 11.4 (12.54)	7.9 - 11.6 9.72 (11.10)	8.8 - 10.1 9.63 (10.96)	9.1 - 9.9 9.5 (11.49)	9.0 - 10.3 9.46 (12.07)	10.9 - 11.2 11.05 (11.83)	12.0 - 13.0 12.6 (12.48)	9.9 - 11.6 10.5 (10.03)	8.2 - 9.3 8.7 (11.33)
DIP, мкгP/л	18.3 - 51.8 30.7 (36.5)	3.1 - 65.1 33.5 (3.2)	0.0 - 50.0 15.2 (0.0)	0.0 - 53.3 10.9 (0.0)	9.3 - 34.7 16.1 (0.0)	12.4 - 42.5 19.5 (0.0)	22.6 - 43.1 29.5 (16.9)	21.4 - 44.6 33.8 (37.8)	6.2 - 37.2 17.2 (36.2)	0.0 - 59.8 17.7 (0.0)
NO ₂ , мкгN/л	0.0 - 1.0 0.1 (0.0)	0.0 - 4.2 0.6 (0.0)	0.0 - 9.5 1.9 (1.4)	0.0 - 9.5 1.6 (1.3)	0.6 - 13.6 3.1 (1.2)	0.0 - 8.7 1.7 (1.4)	0.4 - 2.8 1.5 (2.0)	0.0 - 5.6 28 (0.0)	- -(0.0)	- -(0.5)
DISI, мкгSi/л	33 - 842 390 (112)	43 - 1042 213 (163)	50 - 350 111 (10)	112 - 784 238 (21)	311 - 628 427 (1)	20 - 720 209 (4)	260 - 342 - 318 (3)	224 - 582 427 (129)	155 - 501 267 (111)	34 - 700 187 (8)
Участок 5 (n = 8)										
T, °C	-1.17 - 0.81 -0.48 (0.26)	0.18 - 9.11 5.31 (5.29)	-0.99 - 19.12 9.12 (10.64)	-0.42 - 12.76 10.85 (10.16)	3.04 - 10.23 8.65 (8.27)	5.19 - 6.88 6.16 (5.76)	-1.36 - -0.37 -0.81 (-0.9)	-1.04 - 1.24 0.52 (0.17)	-0.67 - 10.47 6.87 (0.34)	-0.83 - 14.4 10.7 (10.08)
O ₂ , мгO ₂ /л	11.6 - 15.2 13.52 (13.47)	11.0 - 13.1 12.22 (12.90)	8.1 - 11.8 9.46 (11.23)	8.8 - 10.1 9.67 (10.97)	9.2 - 9.9 9.40 (11.41)	8.6 - 10.4 9.20 (11.93)	10.9 - 11.1 11.00 (11.85)	11.2 - 12.8 12.2 (12.49)	9.8 - 11.6 10.5 (13.9)	8.3 - 9.7 8.7 (11.42)
DIP, мкгP/л	3.1 - 40.6 20.2 (38.6)	9.3 - 37.8 24.5 (19.6)	0.0 - 66.3 22.0 (0.8)	0.0 - 53.3 6.2 (0.1)	2.2 - 34.7 14.3 (2.0)	10.8 - 42.5 17.1 (5.5)	19.2 - 34.1 30.7 (18.5)	21.4 - 43.8 34.7 (41.0)	6.8 - 53.6 18.6 (37.6)	0.0 - 51.2 15.2 (0.7)
NO ₂ , мкгN/л	0.0 - 0.0 0.0 (0.0)	0.0 - 5.6 0.7 (0.0)	0.0 - 17.1 2.1 (5.3)	0.0 - 17.1 1.9 (1.0)	0.0 - 40.3 3.7 (0.6)	0.0 - 9.1 1.8 (0.4)	0.0 - 6.4 31 (0.8)	0.0 - 6.6 2.5 (0.0)	- -(0.0)	- -(0.3)
DISI, мкгSi/л	19 - 491 164 (136)	58 - 143 97 (157)	19 - 437 165 (5)	96 - 455 197 (7)	243 - 628 381 (5)	20 - 720 109 (4)	260 - 384 318 (5)	224 - 843 460 (175)	115 - 916 258 (125)	48 - 675 167 (5)

В наблюдениях отмечаются существенные перепады значений температуры воды и концентраций БВ в пределах изучаемых участков залива практически в каждой съемке, а расчетные концентрации подтверждают, что в течение года на участках залива происходит значительное изменение температуры водной среды и концентраций БВ. Сравнение расчетных параметров с наблюдениями можно проводить с ориентацией на диапазон изменчивости последних в отдельные сроки, а также на оцененные средние наблюдаемые значения на соответствующих участках залива. Как видно из табл. 6.5, в целом расчетные значения параметров преимущественно попадают в диапазон наблюдаемых значений, однако оцененные по наблюдениям в отдельных съемках средние значения редко обнаруживают соответствие расчетным концентрациям сравниваемых параметров.

Сопоставление расчетов с наблюдениями показывает, что значения температуры воды во всех, а концентрации растворенного O₂ в большинстве случаев попадают в диапазон значений, наблюдаемых в разные сроки на отдельных станциях. Отметим, что измерения температуры воды свидетельствуют о неравномерности вертикальной устойчивости водной массы в зал. Анива. Например, 14.VIII.2001 г. в пределах участков 2-5 на отдельных станциях отмечались как низкие (-0.99...0.00 °C), так и сравнительно высокие температуры воды (18.07 - 19.10 °C). Подобная ситуация отмечалась и в другие сроки наблюдений (01.X.2001 г., 20.IV. и 07.VIII.2002 г.).

Столь существенные колебания измеренных температур воды свидетельствуют о значительных вертикальных перемещениях водных масс и о выносе в поверхностные слои глубинных вод с характерно низкими значениями температуры. Отметим, что в указанные сроки, когда в пределах одного участка на разных станциях наблюдались существенные перепады температуры воды, расчетные значения концентраций O₂, как правило, были выше наибольших наблюдаемых их концентраций. Подобное отмечалось и в сроки наблюдений 27.X. и 16.XI.2001 г.

Следует также отметить, что во время отдельных съемок на всех участках было достаточно хорошее соответствие наблюдаемых средних и расчетных значений температуры (15.VI.2001 г. и 17.I.2002 г.) и концентраций растворенного O₂ (02.IV.2002 г.).

Анализ наблюдаемых во время отдельных съемок концентраций DIP, NO₂ и DISi показал, что в течение года содержание указанных компонентов меняется довольно значительно не только в пределах залива, но даже внутри выделенных участков. Расчетные концентрации DIP в большинстве случаев попадают в диапазон наблюдаемых концентраций. Однако результаты аналитических определений DIP 27.X и 16.XI.2001 г. показывают, что расчетные значения этого показателя (0 - 2.0 мкг P/л) были существенно ниже наименьших наблюдаемых значений (7.8 - 9.3 мкг P/л).

Вычисленные с помощью модели концентрации NO₂ во всех съемках попадают в диапазон наблюдаемых на отдельных станциях концентраций, причем большее соответствие расчетов имеется с наименьшими наблюдаемыми концентрациями NO₂ в фиксируемом их диапазоне. Следует отметить, что расчетные концентрации NO₂, как и DIP, в ряде случаев существенно отличаются от оцененных по наблюдениям средних значений из-за сильного перепада измеренных концентраций веществ на отдельных станциях внутри выделенных участков.

Сравнение расчетных и наблюдаемых концентраций DISi показывает чрезвычайную изменчивость этого показателя по акваториям участков и в целом превышение в отдельные сроки наблюдений измеренных концентраций DISi над

расчетными. Очевидно, что в расчетах можно было бы принять более высокие исходные концентрации DIS_i , чем в проведенной серии расчетов.

Отметим, что наблюдаемые концентрации БВ в целом не учитывались при реализации модели, а использовались лишь на конечном этапе исследования – при их сравнении с результатами моделирования. Выявленное соответствие расчетов и наблюдений свидетельствует об адекватности модели и о способности воспроизводить условия биотрансформации БВ в изучаемой морской среде по заданным внутригодовым изменениям показателей ее состояния. Сопоставление расчетов с наблюдениями 2001–2002 гг. показало, что модель по среднелетним данным с приемлемой точностью описывает динамику концентраций БВ в разных акваториях зал. Анива.

6.8. Характеристика динамики биомасс планктонных организмов и показателей их биопродукции

В динамике биомасс планктонных организмов отмечается несколько особенностей (рис. 6.6):

- имеет место зимний максимум биомассы диатомовых водорослей F1, наибольший (0.02 мг N/л) в водах бух. Лососей, несколько меньший (0.017–0.018) на участках 3 и 5 и еще меньший – на участках 2 и 4 (0.010–0.011 мг N/л);

- отмечаемый весенний (апрель) максимум биомассы диатомовых F1 раньше формируется на участках 4 и 3 (~ 0.046 мг N/л), на неделю позже – на участках 2 (0.071) и 5 (0.042 мг N/л);

- в бух. Лососей весенний максимум диатомовых F1 отмечен в мае (0.08 мг N/л), в последующие месяцы в развитии диатомовых промежуточных максимумов биомассы не отмечается и происходит ее постепенное снижение к концу года;

- на участке 2 отмечается период повышенной биомассы диатомовых F1 летом (~ 0.026 мг N/л), к октябрю она здесь снижается (до ~ 0.001), а к концу года слегка возрастает (до ~ 0.006 мг N/л);

- на участках 3–5 формирование повышенной биомассы диатомовых водорослей F1 отмечается к концу мая–началу июня (~ 0.021–0.028 мг N/л). К августу она снижается и до конца года на участках 3 и 4 остается на невысоком уровне, а на участке 5 к декабрю возрастает до 0,03 мг N/л за счет в целом более благоприятных условий среды обитания (интенсивный вынос в поверхностные слои БВ при апвеллинге глубинных вод);

- формирование биомасс второй и третьей групп фитопланктона, F2 и F3, в значительной степени зависит от условий рециклинга БВ летом и поступления их с водами Восточно-Сахалинского течения в период его активизации во второй половине года. Эти условия определяются активностью гидробионтов в трансформации БВ, а также условиями их переноса из соседних акваторий. На участках 1, 3 и 5 также имеются постоянные источники поступления БВ в поверхностные слои (на участке 1 – речной сток, на участках 3 и 5 – апвеллинг глубинных вод), и поэтому в этих районах развитие указанных групп фитопланктона происходит активнее, чем на участках 2 и 4;

- указанные факторы определяют также развитие и зоопланктонных организмов, Z1 и Z2. Условия их развития наиболее благоприятны в водах бух. Лососей: здесь наибольшие биомассы растительноядного Z1 и хищного Z2 зоопланктона отмечаются раньше (июнь–июль), чем в других районах. На участках 3 и 5 отмечено также повышение активности зоопланктона за счет усиления процессов апвеллинга водных масс, и здесь к концу года биомассы зоопланктона оказываются выше, чем в других районах зал. Анива (рис. 6.6).

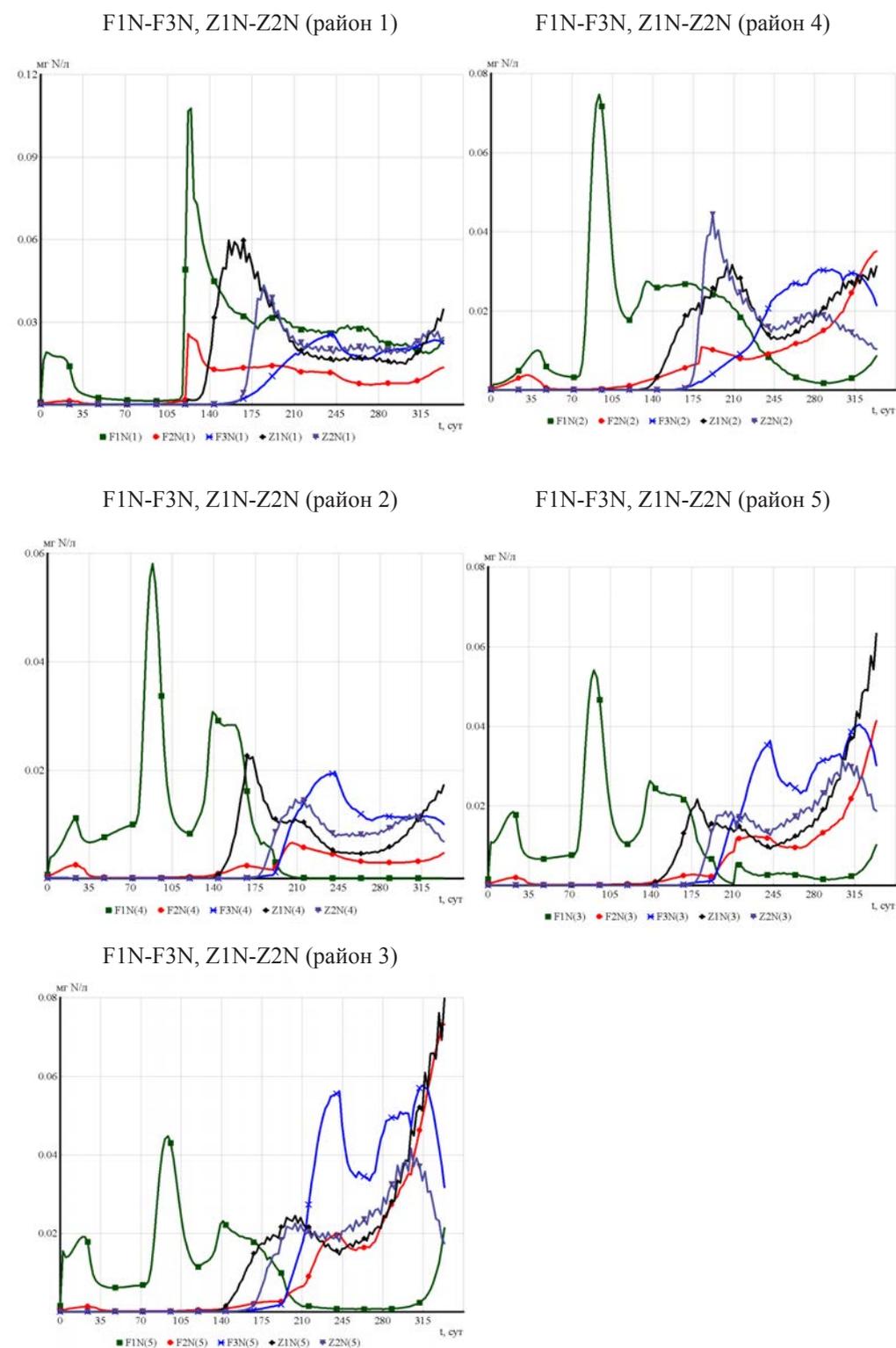


Рис. 6.6. Расчетная динамика биомасс планктонных организмов для участков 1–5 зал. Анива

Значения продуктивности гидробионтов рассчитываются в модели с учетом оцениваемых потоков вещества, определяющих интенсивность внутренних процессов потребления веществ, выделения продуктов обмена, отмирания и выедания биомасс гидробионтов организмами более высоких трофических уровней, а также переноса биомассы через границы выделенных участков водными массами. При реализации модели значения потоков веществ оцениваются для каждого временного шага, суммируются и запоминаются в специальном файле. Расчеты для каждого месяца выполняются по специальной подпрограмме. В целом наиболее активно формирование продукции в районах зал. Анива проходит у бактерий В1, диатомовых водорослей F1 и зоопланктона Z1. Продукция фитопланктона второй и третьей групп (F2 и F3) формируется в основном во второй половине года, и она преимущественно определяется условиями рециклинга БВ в водной среде.

В расчетной динамике изменения продукции гетеротрофных бактерий В1 в разные месяцы отмечаются следующие особенности:

– зимой значения продукции В1 низкие во всех районах, формирование значимых величин продукции начинается в мае; в течение года наибольшие значения продукции бактерий отмечаются в водах бухты Лососей в мае–июне – 0.930–0.981 г N/(м³ мес.). Летние максимумы продукции бактерий в других районах ниже, они отмечаются в июне–июле и составляют 0.540–0.657, 0.614, 0.565 и 0.515 г N/(м³ мес.) на участках 2–5 соответственно. К декабрю значения продукции В1 постепенно снижаются, однако усиление апвеллинга вод на участках 3 и 5 способствует формированию к концу года в этих районах повышенных значений продукции бактерий (до 0.524 и 1.431 г N/(м³ мес.) соответственно). Расчетные годовые значения продукции В1 для участков 1–5 составляют 3.275, 2.540, 2.241, 1.147 и 4.465 г N/(м³ год) соответственно;

– в январе повышенные значения продукции диатомовых водорослей F1 отмечаются в водах бухты Лососей (0.175 г N/(м³ мес.)), а также на участках 3–5 (0.166, 0.079 и 0.180 г N/(м³ мес.) соответственно). Условия развития диатомовых в последующие месяцы по районам неоднозначны, и, следовательно, характер сезонных изменений этого показателя в разных районах отличается. В бух. Лососей в феврале–марте значения продукции F1 снижаются, а с апреля формирование продукции диатомовых в этом районе активизируется, и уже в мае достигается ее весенний максимум, равный 1.450 г N/(м³ мес.). Высокие ее значения в бух. Лососей сохраняются вплоть до октября, и в летне-осенний период они колеблются в диапазоне 0.284–0.540 г N/(м³ мес.). На участке 2 весенний пик продукции F1 отмечен в апреле (0.500 г N/(м³ мес.)), в мае–июне продукция диатомовых здесь снижается (до 0.233–0.276), а в июле она возрастает до 0.379; в последующие месяцы снижается и в октябре составляет 0.022 г N/(м³ мес.). В водах участка 3 повышение активности диатомовых прослеживается с марта по июнь, значения продукции в эти месяцы наибольшие и составляют 0.241–0.349, в последующие месяцы величина продукции F1 в этом районе снижается и к октябрю составляет 0.002 г N/(м³ мес.). На участке 4 ее наибольшие значения отмечаются в марте–июне (0.174–0.392 г N/(м³ мес.)), далее они до конца года постепенно снижаются. К декабрю повышенные значения продукции диатомовых отмечены в бух. Лососей (0.103 г N/(м³ мес.)), а также на участках 2, 3 и 5 (до 0.128, 0.049 и 0.818 г N/(м³ мес.) соответственно). Оцененные по результатам моделирования годовые значения продукции F1 для участков 1–5 составляют 4.066, 2.272, 1.500, 1.457 и 2.372 г N/(м³ год) соответственно;

– с января по апрель на участках 1–5 значения продукции фитопланктона второй группы F2 остаются низкими, а формирование ее значимых величин начинается с мая–июня. В бух. Лососей с мая по декабрь значения продукции F2 меняются в небольших пределах и составляют 0.0216–0.048 г N/(м³ мес.). Ее наибольшие значения формируются на участке 2 в сентябре–декабре (0.050–0.110 г N/(м³ мес.)), 3 – в ноябре–декабре (0.188–0.293 г N/(м³ мес.)). На участке 4 значения продукции F2 в течение года остаются невысокими и обнаруживают некоторое повышение в июле и в декабре (до 0.020–0.021 г N/(м³ мес.)). На участке 5 возрастание продукции F2 отмечено с июля по ноябрь (с 0.018 до 0.287), а в декабре оно снижается до 0.118 г N/(м³ мес.). Вычисленные по результатам моделирования годовые значения продукции F2 для участков 1–5 составляют соответственно 0.263, 0.351, 0.683, 0.096 и 0.752 г N/(м³ год);

– в бух. Лососей наибольшее значение продукции F3 приходится на сентябрь (0.102 г N/(м³ мес.)), на участке 2 – на сентябрь–октябрь (соответственно 0.119–0.134), 3 – на август–октябрь (0.147–0.223), 4 – на июль–сентябрь (0.034–0.580), 5 – на август–ноябрь (0.206–0.286 г N/(м³ мес.)). Расчетные годовые значения продукции водорослей F3 для участков 1–5 составляют 0.472, 0.401, 0.821, 0.218 и 1.070 г N/(м³ год) соответственно;

– с января по апрель продукция растительноядного зоопланктона Z1 очень мала, ее развитие в разных районах зал. Анива фактически начинается с мая. В течение года наибольшие значения продукции Z1 отмечаются в водах бух. Лососей (июль) и на участке 5 (ноябрь). В водах бух. Лососей наибольшее значение продукции Z1 отмечено в июне (0.919 г N/(м³ мес.)), к сентябрю оно снижается до 0.223, а к концу года возрастает до 0.674–1.128 г N/(м³ мес.). На участке 2 наибольшие в течение года величины продукции Z1 отмечены в июле–августе (0.272–0.273 г N/(м³ мес.)), на участке 3 повышенные ее значения приходятся на июль (0.187), а также на ноябрь–декабрь (0.619–0.638 г N/(м³ мес.)). На участке 4 значения продукции Z1 повышены в июне–июле (0.125–0.167 г N/(м³ мес.)), к концу года также отмечена тенденция ее возрастания до 0.131–0.139 г N/(м³ мес.). На участке 5 повышенные значения продукции Z1 (0.136–1.128 г N/(м³ мес.)) отмечаются с июня по декабрь с общей тенденцией ее возрастания к концу года (ноябрь). Годовые значения продукции Z1 в водах участков 1–5 составляют 2.664, 1.746, 2.046, 0.751 и 3.148 г N/(м³ год) соответственно;

– в развитии хищного зоопланктона Z2 в течение года на участках 1–5 обнаруживаются некоторые отличия, которые связываются с меняющимися по разным районам условиями формирования их наибольшей активности. С января по май значения продукции Z2 во всех районах зал. Анива невелики, а активизация этой группы зоопланктона начинается с июня. На участках 1 и 2 фиксируются четкие максимумы продукции Z2 в июле (0.531–0.538 г N/(м³ мес.)), на участках 3 и 5 – в октябре–ноябре (0.263–0.280 и 0.401–0.446 г N/(м³ мес.) соответственно). На участке 4 активность Z2 существенно ниже, чем на участках 3 и 5, хотя наибольшие для последнего участка значения продукции Z2 также отмечаются в октябре–ноябре (0.077–0.078 г N/(м³ мес.)). Годовые значения продукции Z2, оцененные по результатам моделирования, для участков 1–5 составляют 1.484, 1.294, 1.012, 0.419 и 1.592 г N/(м³ год) соответственно.

6.9. Расчетная динамика концентраций НУ⁶, биомасс нефтеокисляющих бактерий В4 и их окислительной активности

По данным Гидрометеослужбы, среднегодовые и максимальные концентрации НУ в водах бух. Лососей составляли 43 и 446 ПДК, в зал. Анива – 12 и 350 ПДК, в прол. Лаперуза – 10 и 100 ПДК. Это существенно выше, чем в других районах Охотского моря, так как характерное содержание НУ в прибрежных водах Сахалина принимается на уровне 2–3 ПДК [Шапоренко, 1997]. В целом эти оценки следует признать крайне завышенными.

Определение концентраций НУ современными аналитическими методами показывает, что в районах добычи нефти в северо-восточной части шельфа Сахалина концентрации НУ в поверхностных водах составляли 20.2–22.8 мкг/л, а в придонных водах – 18.3–21.2 мкг/л. Эти определения согласуются с ранее опубликованными оценками (15–19 мкг/л) по содержанию НУ в указанном районе [Немировская и др., 1997].

Расчетная динамика концентраций НУ и биомасс нефтеокисляющих бактерий (В4) показана на рис. 6.7. Принятое в расчетах исходное содержание НУ на участках 1–5 составляет соответственно 0.05, 0.03, 0.02, 0.03 и 0.04 мг/л. Было учтено, что концентрация НУ в прибрежных водах (особенно в эстуариях) выше, чем в

бухтах. Районы эстуариев рек загрязнены намного больше в связи с переносом НУ из верхних участков рек в нижние, а затем в эстуарии [Wang et al., 2003].

Расчетное развитие биомассы бактерий В4 в течение года характеризуется двумя максимумами, причем время их достижения и значения биомасс на разных участках отличаются. Первый максимум В4 отмечен на участках 1–5 соответственно на 190-е, 195-е, 204-е и 183-и сутки. Вторым максимум В4 на участке 1 приходится на 344-е сут, на участках 2 и 4 – на 296-е сут и на участке 5 – на 305-е сут. К концу года биомасса В4 на участках 1–5 снижается.

Динамика потребления НУ нефтеокисляющими бактериями В4 (рис. 6.8) показывает, что в течение года эти бактерии в своем развитии потребляют в водах участков 1–5 разное количество НУ. С января по май в водной среде практически не происходит потребления НУ нефтеокисляющими бактериями (из-за низких температур водной среды нет активного развития В4). Активизация развития В4 отмечается в июне, когда температура поверхностной воды на участках 1–5 поднимается до 6.5–7.0 °С, а наибольшая температура воды отмечается в августе–сентябре (10.6–13.0 °С).

Анализ ежемесячных величин потребления НУ нефтеокисляющими бактериями В4 показывает, что на участке 1 наибольшее потребление НУ ими происходит в июне (0.08 мг/(л мес.)), достаточно высокое оно также в июле (0.06 мг/(л мес.)) и ноябре (0.05 мг/(л мес.)). В остальные месяцы потребление НУ нефтеокисляющими бактериями здесь ниже (0.016–0.020 мг/(л мес.)).

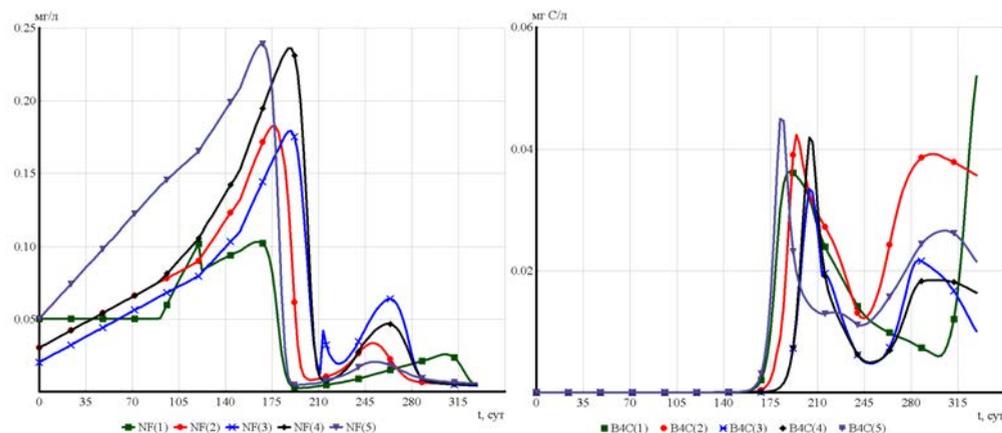


Рис. 6.7. Расчетная динамика концентраций НУ и биомасс нефтеокисляющих бактерий В4 для участков 1–5 зал. Анива

бухтах. Районы эстуариев рек загрязнены намного больше в связи с переносом НУ из верхних участков рек в нижние, а затем в эстуарии [Wang et al., 2003].

Расчеты показывают, что с начала года содержание НУ в водной среде на участках 1–5 возрастает и достигает максимума в бух. Лососей на 166-е сут (0.103 мг/л), на участках 2–5 – соответственно на 176-е (0.182), на 190-е (0.179), на 189-е (0.236) и на 168-е сут (0.239 мг/л). В июне начинается акти-

⁶ НУ – нефтяные углеводороды, в уравнениях CNPSi-модели применялось их обозначение NF (главы 1–5).

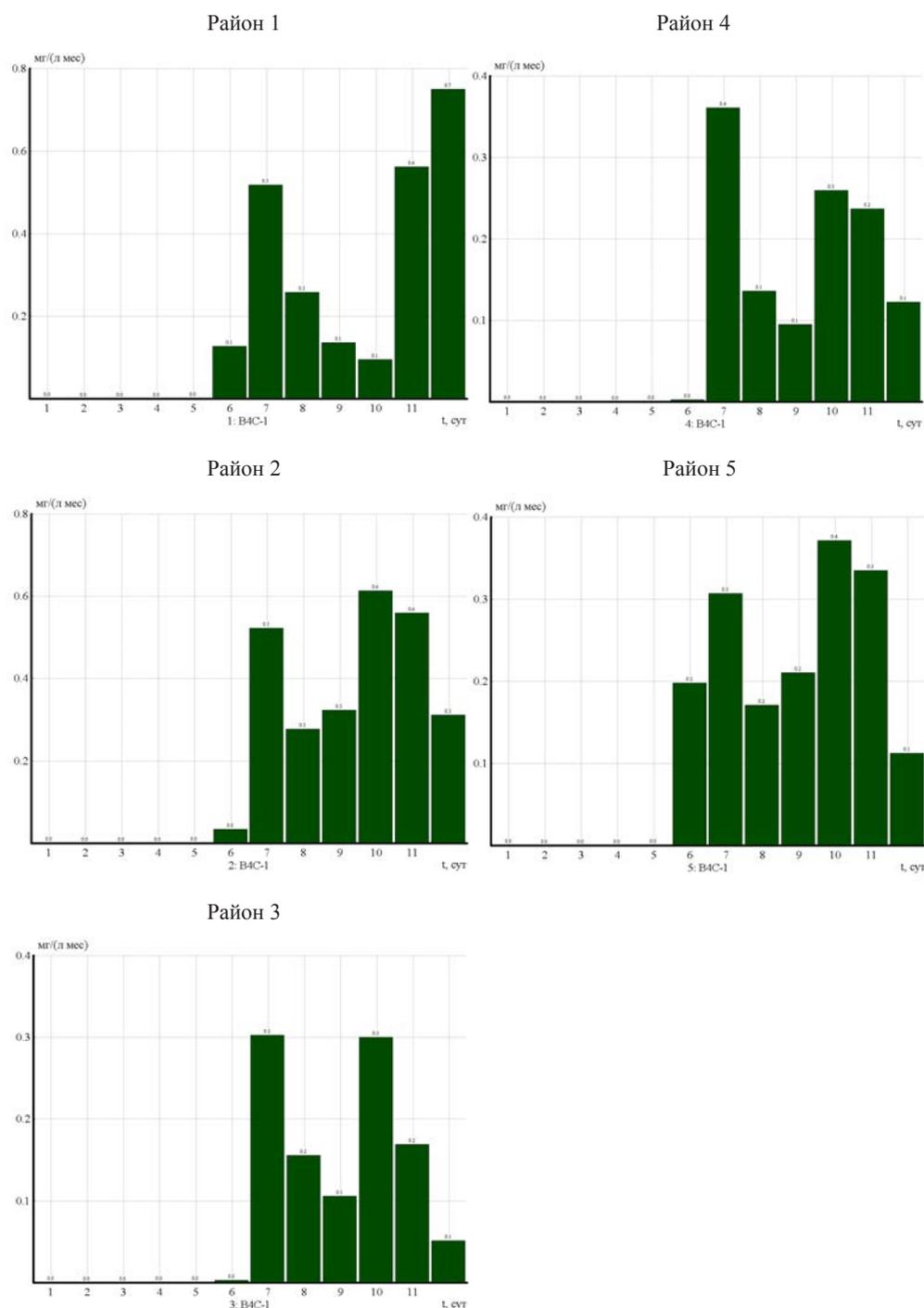


Рис. 6.8. Оцененное ежемесячное потребление НУ нефтеокисляющими бактериями В4 для участков 1–5 зал. Анива

На участке 2 потребление НУ нефтеокисляющими бактериями В4 в июне невелико и составляет 0.028 мг/(л мес.), в июле оно наибольшее (0.257 мг/(л мес.), а с августа по декабрь колеблется в пределах 0.044–0.107 мг/(л мес.).

На участках 3 и 4 наибольшее потребление НУ нефтеокисляющими бактериями В4 отмечается в июле и составляет соответственно 0.250 и 0.310 мг/(л мес.). В последующие месяцы диапазон изменчивости скорости потребления НУ нефтеокисляющими бактериями в указанных районах снижается до 0.044–0.124 мг/(л мес.).

На участке 5 активное потребление НУ нефтеокисляющими бактериями происходит в июне и июле (составляет соответственно 0.194 и 0.173 мг/(л мес.)), в августе–ноябре оно здесь снижается до 0.081–0.100, а в декабре – до 0.052 мг/(л мес.).

Таким образом, наибольшее потребление НУ нефтеокисляющими бактериями В4 на участках 5 и 1 отмечено в июне и составляет соответственно 0.184 и 0.080 мг/(л мес.) (или 0.006 и 0.003 мг/(л сут)), на участках 2–4 наибольшее потребление НУ происходит в июле (соответственно 0.257, 0.250 и 0.310 мг/(л мес.), или 0.008–0.010 мг/(л сут)). В целом за год бактерии В4 потребляют НУ на участках 1–5 в количестве 0.263, 0.669, 0.673, 0.684 и 0.775 мг/(л год) соответственно.

Следует отметить, что оцененные в этом исследовании скорости деградации НУ нефтеокисляющими бактериями В4 близки имеющимся в литературе данным для естественных условий. Так, после аварии танкера «Амоко Кадис» оцененная биодеградация нефти в толще морской воды составляла в среднем 0.027 мг/(л сут) (Lauber, 1980).

Расчеты показывают, что накопленный за зиму запас НУ в водной среде (в пределах 2–5 ПДК) практически ассимилируется бактериями в течение двух месяцев (июнь–июль). В последующие месяцы в системе поддерживается равновесное состояние между процессами поступления, перераспределения при переносе водными массами и биотрансформации НУ в морской среде, а концентрация НУ поддерживается в пределах 2–12 мкг/л.

6.10. Расчетное поступление НУ из разных источников и их годовой баланс

Поступление НУ из разных источников оценивалось на единицу объема вод отдельных участков зал. Анива (в такой форме эти значения нагрузки можно сопоставлять друг с другом). Это подразумевает принятие условий полного перемешивания. Для расчетов суммарного поступления НУ (по всем источникам и для всего залива) оценивалась общая нагрузка по НУ с учетом объемов вод каждого участка (табл. 6.6). Поступление НУ с речным стоком в зал. Анива учитывалось для бух. Лососей. В многоводные годы поступающий объем речной воды практически сопоставим с объемом вод в самой бухте [Пищальник, 1990]. Для участков 2–5 характерны низкие значения отношений объемов речного стока к их водным объемам, и поэтому в этих акваториях влиянием речного стока можно пренебречь.

Поступление НУ на участке 1 с речным стоком в разные месяцы меняется от 0.0255 до 0.063 мг/(л мес.). Наибольшее оно в апреле (0.063 мг/(л мес.), или 0.476 тыс. т), в мае оно снижается до 0.034 мг/(л мес.) (или 0.258 тыс. т), а в июне–декабре меняется в небольшом диапазоне и в среднем составляет 0.026 мг/(л мес.) (или 0.199 тыс. т). Всего за год с речным стоком в водную среду

Таблица 6.6

**Оцененные значения основных потоков НУ (тыс. т)
на участках 1–5 зал. Анива**

Поток	1	2	3	4	5	Весь залив
Речной сток (+)	2.1297	–	–	–	–	2.1297
Внешняя нагрузка (+)	–	–	–	–	44.8390	44.8390
Естественное поступление (просачивание с морского дна, эрозия осадков и др.) (+)	–	13.2387	54.3365	90.9909	–	158.5661
Вынос в прол. Лаперуза (-)	–	–	0.0157	0.0721	1.0497	1.1375
Перенос из соседних районов (+)	–	0.3272	0.1656	1.0176	0.6845	2.1949
Вынос в соседние районы (-)	0.2922	0.5105	0.2519	0.9183	0.0001	1.973
Потребление НУ нефтеокисляющими бактериями (-)	1.9955	13.1826	57.0109	92.5988	45.5992	210.3869
Баланс	+2.1297 <u>-2.2947</u> -0.1650	+13.5659 <u>-13.6931</u> -0.1272	+54.5022 <u>-57.2785</u> -2.7763	+92.0086 <u>-93.5891</u> -1.5805	+45.5236 <u>-46.6489</u> -1.1253	+205.5348 <u>-210.8979</u> -5.3631
Невязка, %	7.75	0.94	5.09	1.72	2.47	2.61

участка 1 поступает НУ в количестве 0.280 мг/(л год) (или 2.1297 тыс. т). Эта оценка вполне реалистична и близка приведенной в литературе (1.83 тыс. т) для выноса НУ в Охотское море с речным стоком [Шапоренко, 1997]. Для сравнения отметим, что поступление НУ с речным стоком в Охотское море существенно ниже, чем в других морях России. Так, ежегодный вынос НУ с водами Дуная в Черное море составлял 10.37–67.864 (среднее – 39.672) тыс. т, а с водами Днепра – 3–22.136 (11.396) тыс. т [Фашук, Шапоренко, 1995]. В Каспийское море с речным стоком поступает НУ в количестве 55.99 тыс. т, из них 54.72 тыс. т с водами Волги [Шапоренко, 1997].

Ежегодное поступление НУ из донных осадков на участках 2–4 по результатам моделирования составило соответственно 0.672, 0.642 и 0.672 мг/(л год) (или 13.239, 54.336 и 90.991 тыс. т). Эти оценки близки минимальным значениям, приведенным в литературе (табл. 6.1).

Отметим, что это оцененные значения накопленной за год нагрузки по НУ на общий объем вод зал. Анива. Эти значения нагрузки не надо путать с мгновенными (разовыми) поступлениями НУ, которые происходят при авариях танкеров или на буровых установках. Значения «чистой» (или реальной) нагрузки по результатам моделирования оцениваются с учетом важнейших потоков НУ – одновременно действующего переноса НУ водными массами и их бактериального потребления (основных долговременных процессов, определяющих судьбу НУ в морской среде).

Перенос водными массами НУ из соседних районов на участках 2–5 составляет 0.0166, 0.0020, 0.0075 и 0.0116 мг/(л год) (или 0.3272, 0.1656, 1.0176 и 0.6845 тыс. т) соответственно. Потери НУ за счет их выноса в соседние районы водными массами составили 0.0384, 0.0259, 0.0030, 0.0068 и 1.71×10^{-6} мг/(л год) (или 0.2922, 0.5105, 0.2519, 0.9183 и 0.0001 тыс. т) соответственно на участках 1–5. Полученные данные свидетельствуют о том, что перенос НУ водными массами внутри зал. Анива в большей мере способствует перераспределению и выравниванию концентраций НУ по всей акватории залива и в сравнении с другими процессами в меньшей степени определяет нагрузку по НУ на отдельные участки.

Вынос НУ из зал. Анива в прол. Лаперуза составляет 1.85×10^{-4} , 5.32×10^{-4} и 1.785×10^{-2} мг/(л год) (или 0.0157, 0.0721 и 1.0497 тыс. т) соответственно из участков 3–5.

Для участка 4, на побережье которого находится завод по сжижению природного газа, а в прибрежной зоне терминалы для отгрузки сжиженного газа и нефти, был задан постоянный внешний источник поступления НУ. С учетом того, что современные технологии нефтегазового комплекса совершенствуются, однако еще не исключают отрицательного воздействия на морскую среду и загрязняют ее, заданная условная внешняя нагрузка по НУ (например, за счет потерь при перекачке нефти, ее поступления со стоками при утечках и т. д.) для участка 4 задавалась на минимальном уровне (табл. 6.1). Эта условная нагрузка по НУ на участок 4 составила 0.6720 мг/(л год) (90.9909 тыс. т, или ~ 250 т/сут на весь объем вод), что существенно меньше сценарной нагрузки аварийного разлива нефти (3400 т/сут) [Патин, 2001].

Таким образом, реализованный вариант расчета показал, что на единицу объема вод наименьшее годовое поступление НУ обеспечивается речным стоком в бух. Лососей (0.280 мг/(л год), или в среднем 0.77×10^{-3} мг/(л сут), выделение со дна на участках 2, 3 и 5 обеспечивает поступление НУ в количествах 0.642–0.763 мг/(л год), или $(1.76–2.09) \times 10^{-3}$ мг/(л сут)), а внешний источник на участке 4 – 0.672 мг/(л год) (или 1.84×10^{-3} мг/(л сут)).

В табл. 6.6 представлены используемые в этой серии расчетов значения годовой нагрузки НУ и по результатам расчетов составлен годовой баланс НУ для отдельных участков и зал. Анива в целом. Расчеты показывают, что с учетом объемов вод наибольшая нагрузка по НУ приходится на участок 4.

Первую половину года в зал. Анива поступление НУ со дна и из внешних источников превышает расходование НУ на развитие процессов биотрансформации НУ и в воде происходит накопление НУ (до 2–5 ПДК). Летом и осенью активно развиваются процессы биотрансформации НУ и в воде поддерживаются низкие концентрации НУ (2–12 мкг/л). Основной канал трансформации НУ связан с их деградацией нефтеокисляющими бактериями В4, которые за год на участках 1–5 потребляют соответственно 1.996, 13.183, 57.011, 92.599 и 45.599 тыс. т НУ.

Расчеты позволяют предполагать, что в целом экосистема зал. Анива справляется с потоком НУ, которые могут попадать из разных источников в морскую среду. Температурные условия в заливе формируют достаточно высокий потенциал самоочищения морской среды. Очевидно, что условия на северо-восточном шельфе Сахалина, где ведется основная добыча НУ, менее благоприятны для развития процессов самоочищения вод вследствие существенно низких температур воды (разность в температурах поверхностных вод в период максимального их прогрева в водах северо-восточного шельфа и в зал. Анива достигает 6–8 °С [Пищальник, Бобков, 2000]).

В целом в зал. Анива расчетное бактериальное потребление НУ за год составило 210.389 тыс. т. Составленный годовой баланс НУ показал близкие значения положительных и отрицательных потоков НУ, но с устойчивой тенденцией превышения отрицательной составляющей годового баланса НУ над положительной для всех участков зал. Анива. Полученная невязка баланса НУ вполне приемлема и находится в пределах точности выполняемых расчетов. В целом невязка баланса для участков 1–5 составляет соответственно 7.75, 0.94, 5.09, 1.72 и 2.47 %, а для всего зал. Анива она оценена равной 2.61 %.

Согласно современным представлениям о циркуляции вод в зал. Анива [Пищальник и др., 2003], участок 4 находится в центре квазистационарного антициклонического круговорота вод, существование которого и объясняет как наибольшие значения поступления НУ (его накопление в центре) [Симонов и др., 1974], так и их деградацию (за счет увеличенного общего времени пребывания НУ в зоне этого участка).

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения дополнительных исследований для уточнения информации о поступлении, перераспределении и содержании НУ в водах зал. Анива, требуемой для выполнения модельных расчетов.

6.11. Выводы по результатам модельных исследований

Для оценки внутригодового распределения концентраций органогенных веществ и НУ использована гидроэкологическая CNPSi-модель. Она реализована по среднесезонным характеристикам состояния морской среды для каждого месяца (температура, освещенность, прозрачность воды, режим водообмена, поступления БВ и НУ). Водообмен между выделенными участками был оценен на основе рассмотрения составляющих водного режима и уровня моря.

Модель в целом воспроизводит весь характерный спектр внутригодового изменения концентраций органических и минеральных компонентов важнейших биогенных элементов, а также НУ. Показано, что зимой в водной среде нет активного потребления биогенных веществ гидробионтами, и в поверхностном слое отмечены повышенные концентрации DON и NO_3^- , а также растворенных органических и минеральных форм Р. Весной в период активизации роста биомассы гидробионтов содержание растворенных органических и минеральных компонентов снижается. Летом за счет развития продукционных процессов в воде возрастает запас органических веществ. В конце осени–начале зимы, когда активность гидробионтов снижается, содержание органических и минеральных компонентов в водной среде возрастает. Дополнительное поступление биогенных веществ в этот период происходит с водами Восточно-Сахалинского течения. В целом выявлено соответствие расчетной динамике концентраций биогенных веществ с наблюдениями 2001–2002 гг.

Расчеты показывают, что в годовой динамике планктонных организмов зимой имеется максимум биомассы диатомовых водорослей F1 (наибольший в водах бух. Лососей). Весной (апрель) максимум биомассы диатомовых раньше формируется на участках 3 и 4, на неделю позже – на участках 2 и 5, на участке 1 он приходится на май. Летом биомасса диатомовых повышена на участке 2, к октябрю она здесь снижается.

Развитие биомасс фитопланктона F2 и F3 (динофитовых и мелкожгутиковых) зависит от условий рециклинга биогенных веществ летом, а также от их

поступления с водами Восточно-Сахалинского течения во второй половине года. На участках 1, 3 и 5 развитие указанных групп фитопланктона происходит активнее, чем на участках 2 и 4.

Условия развития зоопланктона наиболее благоприятны в бух. Лососей. Здесь отмечена наибольшая биомасса растительного и хищного зоопланктона. В водах участков 3 и 5 отмечена повышенная активность зоопланктона за счет усиления процессов апвеллинга водных масс.

Международный опыт разработки и эксплуатации морских месторождений нефти и газа свидетельствует о неизбежности загрязнения морской среды. Учитывая интенсификацию подобной деятельности на шельфе Сахалина, а также перспективы развития промышленной инфраструктуры и строительства технических сооружений в прибрежной зоне зал. Анива, имеется настоятельная потребность оценки потенциального загрязнения морской среды НУ в этой акватории.

С помощью математического моделирования воспроизведены условия возможного загрязнения морской среды НУ для пяти участков зал. Анива. Скорости поступления НУ (или нагрузка по НУ на акватории залива) оценивались по литературным данным (в расчет принимались минимальные значения) и по результатам численных экспериментов на модели.

Поступление растворенных НУ с речным стоком в бух. Лососей составило 0.280 мг/(л год) (или 2.13 тыс. т). Наибольшим оно было в апреле (0.063 мг/(л мес.), или 0.476 тыс. т). Ежегодный поток НУ со дна в центральной части залива составил 0.642–0.763 мг/(л год) (с учетом объема вод акваторий оно составляло 13.24–44.84 тыс. т, или 36–123 т/сут). Нагрузка по НУ на участок 4 составила 0.672 мг/(л год) (90.99 тыс. т, или ~ 250 т/сут).

В период январь–март, когда температура воды отрицательна, расчетные концентрации НУ в водах залива меняются в пределах 0.10–0.24 мг/л (или 2–5 ПДК), а летом–осенью они снижаются до 2–12 мкг/л. Оцененные значения концентраций НУ близки аналитическим их определениям, характерным для незагрязненных вод шельфа Сахалина.

Наибольшее потребление НУ нефтеокисляющими бактериями B4 отмечено в июне–июле. На разных участках оно меняется от 0.003 до 0.010 мг/(л сут). Эти оценки близки к имеющимся в литературе данным по биодegradации нефти в естественных условиях.

Расчет баланса НУ показал, что экосистема зал. Анива справляется с минимальным загрязнением морской среды НУ. Анализ литературы показывает, что именно такие минимальные количества НУ могут попадать в морскую среду при операциях по переработке и транспортировке нефти. Основная трансформация растворенных НУ связана с бактериальной деструкцией, за счет которой на разных участках залива утилизируется за год от 1.995 до 92.599 тыс. т НУ, а на всей акватории залива – 210.387 тыс. т НУ, что сопоставимо с принятым суммарным годовым поступлением НУ в зал. Анива. Невязка баланса НУ для отдельных участков находится в пределах 0.94–7.75 %, а для всего залива – 2.61 %.

Принятое решение в рамках проекта «Сахалин-2» о транспортировке нефти и газа из района добычи (северо-восток Сахалина) на юг (зал. Анива) – пример обоснованного мероприятия по снижению возможного отрицательного воздействия на морскую среду.

Вопросы для закрепления материала

1. Какие проблемы исследуются с помощью CNPSi-модели для зал. Анива (о-в Сахалин)?
2. Как получены основные сведения о присутствии НУ и процессах их трансформации в морской среде?
3. На сколько акваторий был подразделен зал. Анива в данном исследовании?
4. Как были получены входные данные для проведения расчетов на CNPSi-модели?
5. Что показал анализ расчетной динамики концентраций биогенных веществ?
6. В чем особенность внутригодовой динамики биомасс планктонных организмов?
7. Какие концентрации НУ оценены моделью в зал. Анива для зимнего и летне-осеннего периодов?
8. Какие расчетные значения наибольшего потребления НУ нефтеокисляющими бактериями получены для летнего периода?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебное пособие, по сути, первое достаточно подробное и полное изложение материалов, имеющих непосредственное отношение к разработке и практическому применению CNPSi-модели.

CNPSi-модель относится к классу имитационных системных экологических моделей. Она построена на основании обобщения ранее испытанных моделей, в которых рассматривались процессы снижения/увеличения концентраций биогенных веществ и развития биомасс микроорганизмов, формализованные на основе синтеза химико-биологической информации о процессах биотрансформации соединений органогенных элементов в водных экосистемах. CNPSi-модель предназначена для изучения одновременно происходящих химических, биологических и физических процессов в открытых водных экосистемах. В ней на уровне современного понимания отражена и формализована существующая взаимосвязь между указанными процессами. Поэтому эту модель можно применять для получения количественных данных об условиях функционирования водных экосистем. Специально можно исследовать вопрос о предельных биогенных нагрузках на водные экосистемы. Это направление работ связано с проблемами евтрофирования и самоочищения водных экосистем.

Однако модель дает информацию не только об изменении концентраций химических веществ и биомасс гидробионтов – основных трансформаторов веществ, но и оценивает внутренние и внешние потоки органических и минеральных соединений биогенных элементов. Эта модель может использоваться для изучения таких важных и малоисследованных процессов, как:

– трофические взаимодействия микроорганизмов и потоки веществ в связи с процессами их круговорота при потреблении микроорганизмами веществ, выделении продуктов метаболизма, образовании детрита и выедании биомасс;

– биогео- и гидрохимические взаимосвязанные циклы БВ и соединений органогенных элементов (C, N, P, Si), **осуществляемые за счет активности микроорганизмов**, а также крупно- и мелкомасштабные процессы переноса веществ (по вертикали и горизонтали) в естественных условиях.

С помощью данной модели можно изучать указанные процессы в естественных условиях в конкретных водных объектах, когда могут отмечаться значительные отличия по масштабам и временам их проявления, что определяется меняющимися факторами среды обитания. Концентрация веществ и биомасса микроорганизмов в модели выражены в весовых единицах массы вещества. Ассимилированное вещество включается в биомассу, что может быть выражено в единицах отдельных элементов (например, C, N, P или Si) на единицу объема воды (то есть на литр или на кубический метр). Биомасса рассматриваемых микроорганизмов на конкретный момент времени служит мерой противоположно направленных процессов – с одной стороны, размножения и ее увеличения, а с другой – элиминации и снижения.

Основные параметры модели – константы скоростей химических и физических процессов зависят от температуры, а скорости химико-биологических процессов зависят от нескольких факторов (температура, освещенность, прозрачность воды, значения биомасс, концентрации ряда биогенных веществ). Это дает возможность при расчетах корректировать значения важнейших параметров на условия среды обитания (задаются в модели во входных данных). Таким образом, учет меняющихся условий среды регулирует сезонную актив-

ность микроорганизмов, участвующих в трансформации органических и минеральных веществ. Корректировка значений констант позволяет воспроизвести меняющиеся по сезонам темпы продуцирования биомасс микроорганизмов и скоростей их трофических взаимодействий и в целом отразить неоднородности во времени в распределении химических и биологических показателей состояния водной экосистемы.

Оценка продуктивности конкретной группы микроорганизмов дает представление об условиях, интенсивности роста и размножения данной группы организмов. Эта характеристика позволяет выявить специфические качественные особенности микроорганизмов разных трофических уровней и переход участвующих в круговороте биогенных веществ (органических и минеральных соединений разных элементов) с одного трофического уровня на другой.

Таким образом, модель позволяет изучать свойства водных экосистем – по изменению во времени и пространстве концентраций веществ, их внутренним и внешним потокам, балансам веществ, значениям биопродуктивности и временам круговорота химических и биологических компонентов экосистем. Это дает возможность пользователю:

– проводить многогранную интерпретацию результатов моделирования по взаимодействующим процессам разной природы и масштабам при совокупном влиянии факторов среды на динамику важнейших химико-биологических показателей водных экосистем – концентрациям биогенных веществ, биомассам микроорганизмов (бактерии, фито-, зоопланктон), а также высшей водной растительности (макрофиты);

– выявлять динамические особенности водных экосистем, их переходные состояния и установление стационарных режимов.

Конечная цель экологического моделирования – обеспечение возможности управления природными ресурсами. Это возможно только на основе подобной модели, которая достаточно точно отражает специфику функционирования экосистемы изучаемого водоема. **CNPSi-модель описывает условия биотрансформации соединений органогенных элементов сообществом микроорганизмов (бактерии, фито-, зоопланктон), которые ответственны за трансформацию веществ в водной среде.** В этой модели отражены одновременно развивающиеся процессы потребления веществ, выделения в окружающую среду продуктов метаболизма, детритообразования, выедания биомасс микроорганизмов. Процессы потребления веществ формализованы для полисубстратной среды, в которой субстраты подразделены на взаимозаменяемые (вещества одного элемента) и на взаимозаменяемые компоненты (соединения разных элементов).

Математическое моделирование полезно в тех случаях, когда его правильно применяют на практике. Тогда пользователь получает возможность, экономя силы, средства и время, изучать сложные процессы в природной среде, составлять необходимые прогнозы и получать дополнительную информацию об исследуемых явлениях природы.

Успешное применение **CNPSi-модели при описании поведения водных экосистем Каспийского, Белого и Охотского морей, а также и ряда пресноводных объектов** служит своего рода проверкой и убедительным доказательством взаимной непротиворечивости отражаемых моделью известных отдельных фактов, явлений и наблюдений на стыке ряда естественных дисциплин. Моделирование в этом случае может рассматриваться одним из возможных действенных инструментов количественных исследований процессов биотрансформации вещества и формирования биопродуктивности водных экосистем при конкретных условиях среды обитания. Изучение закономерностей этих взаимосвязан-

ных процессов в разных водоемах (пресноводных и морских) – главная задача современных водно-экологических исследований, позволяющая решать вопросы рационального использования природных биоресурсов.

Направления практического применения **CNPSi-модели могут быть весьма разнообразными.** Тематика студенческих курсовых и дипломных работ в рамках проблем качества водных ресурсов, которая может быть предложена на основе использования этой модели, весьма разнопланова. Ясно, что по сути своей это междисциплинарные исследования, строящиеся на стыке ряда естественных наук и затрагивающие интересы специалистов, как изучающих природные явления в водной среде, так и занятых природоохранной деятельностью. Есть уверенность, что данное пособие может стать полезным учебным руководством для многих специалистов, у которых есть интерес к практическому применению электронных средств для анализа и обобщения накопленной информации, а также в качестве инструментов для изучения и анализа сложных процессов и, в частности, процессов биотрансформации разных веществ в водной среде.

Пользователи модели никогда не снимают вопрос о совершенствовании отдельных блоков и программных функций модели. Эти вопросы следует решать в рабочем порядке, если в этом имеется настоятельная потребность. Для этой модели какие-либо усовершенствования также возможны, их можно будет вводить по мере уточнения имеющейся информации и теоретических представлений об описываемых процессах. Компоновка программ и функций модели позволяет достаточно легко вводить какие-либо уточнения и, следовательно, проводить при желании пользователя работы по усовершенствованию модели.

Автор данного пособия будет признателен тем читателям, которые выскажут свои замечания по применению модели, сформулируют свои комментарии и предложения по усовершенствованию как модели, так и самого пособия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенжицкий, А. Г. Нефтяное загрязнение гипонейстали морей и океанов / А. Г. Бенжицкий. – Киев : Наукова Думка, 1980. – 120 с.
2. Богдашкина, В. И. Экологические аспекты загрязнения водной среды нефтяными углеводородами, пестицидами и фенолами. Экологическая химия водной среды / В. И. Богдашкина. – М. : Институт химфизики АН СССР, 1988. – С. 62–72.
3. Брагина, И. Ю. Сезонная и межгодовая изменчивость зоопланктона по результатам исследований 1995–1999 гг. в проливе Лаперуза (Соя) и прилежащих водах / И. Ю. Брагина // Труды СахНИРО. – 2002. – Т. 4. – С. 48–69.
4. Булдовская, О. Р. Динамика и круговорот соединений фосфора в Учинском водохранилище: исследование с помощью имитационной математической модели фосфорной системы / О. Р. Булдовская, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 2. – С. 176–188.
5. Геология и эксплуатация нефтегазовых месторождений Сахалина. – М. : Научный мир, 1997. – 198 с.
6. Гурвич, Л. М. Можно ли предотвратить нефтяное загрязнение гидросферы? / Л. М. Гурвич // Земля и Вселенная. – 1992. – № 2. – С. 39–43.
7. Дронов, В. Н. О механизмах проникновения нефти в глубинные морские воды. Вероятностный анализ и моделирование океанических процессов / В. Н. Дронов. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – С. 151–159.
8. Израэль, Ю. А. Антропогенная экология океана / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
9. Каськова, В. О. Сезонная динамика концентраций нефтепродуктов и численность нефтеокисляющих бактерий в прибрежной зоне залива Анива / В. О. Каськова, А. В. Полтева, Е. М. Латковская // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 375–384.
10. Коновалов, С. К. Параметризация химико-биологических процессов окисления и численного моделирования сезонного хода распределения нефтяных углеводородов в аэробной зоне Черного моря / С. К. Коновалов, А. И. Кубряков, С. Г. Демьшев // Мор. гидрофиз. журн. – 2004. – № 1. – С. 26–40.
11. Кочергин, И. Е. О технологии моделирования нефтяных разливов на восточном шельфе Сахалина в рамках проведения оценки их воздействия на окружающую среду / В. Е. Кочергин, А. А. Богдановский, В. Д. Будаева и др. // Сб. науч. тр. ДВНИГМИ. – Владивосток : Дальнаука, 1998. – Вып. 1. – С. 171–183.
12. Кочергин, И. Е. Характеристики вероятных сценариев разлива нефти для сахалинского шельфа по результатам моделирования / И. Е. Кочергин, А. А. Богдановский, В. Ф. Мишуков // Сб. науч. тр. ДВНИГМИ. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – Вып. 2. – С. 218–229.
13. Леонов, А. В. Анализ динамики и условий круговорота форм фосфора в мелководных водоемах с помощью математической модели / А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1985. – № 5. – С. 115–128.
14. Леонов, А. В. Математическое моделирование динамики форм фосфора в мелководных экосистемах (на примере оз. Балатон) / А. В. Леонов. – М. : Наука, 1986. – 152 с.
15. Леонов, А. В. Динамика форм фосфора при разных водных режимах в экосистеме оз. Кубенское / А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1987. – № 4. – С. 41–51.

16. Леонов, А. В. Математическая модель совместной трансформации соединений азота, фосфора и кислорода: ее применение для анализа динамики компонентов в евтрофном озере / А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 106–123.

17. Леонов, А. В. Математическая модель совместной трансформации соединений углерода, азота, фосфора и режима кислорода во взаимосвязанных водоемах повышенной трофности / А. В. Леонов, Н. С. Абросов, В. М. Николаев // Водные ресурсы. – 1994. – Т. 21. – № 4–5. – С. 513–522.

18. Леонов, А. В. Анализ данных моделирования динамики и потоков фосфора в разных по трофности водных экосистемах: выявление статистических связей для прогноза концентраций, потоков и нагрузки по фосфору / А. В. Леонов, О. Р. Булдовская // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 3. – С. 277–291.

19. Леонов, А. В. Динамика и баланс соединений фосфора в экосистеме оз. Куортанинъярви (Финляндия) / А. В. Леонов, Ю. Кеттунен, О. Варис // Водные ресурсы. – 1987. – № 6. – С. 141–158.

20. Леонов, А. В. Анализ особенностей функционирования экосистемы Рыбинского водохранилища / А. В. Леонов, А. С. Литвинов, С. М. Разгулин // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 6. – С. 739–753.

21. Леонов, А. В. Применение имитационной математической модели фосфорной системы для расчета скоростей продукционно-деструкционных процессов в водохранилище Загорской ГАЭС / А. В. Леонов, Г. Л. Марголина, А. Г. Соколов // Гидротехн. строительство. – 1992. – № 8. – С. 40–45.

22. Леонов, А. В. Применение имитационной модели для оценки условий трансформации форм фосфора в оз. Туусуланъярви (Финляндия) / А. В. Леонов, Е. Ниemi // Водные ресурсы. – 1989. – № 6. – С. 77–90.

23. Леонов, А. В. Влияние водного фактора на внутригодовые изменения концентраций форм фосфора в экосистеме оз. Туусуланъярви (Финляндия) / А. В. Леонов, Е. Ниemi // Водные ресурсы. – 1991. – № 1. – С. 176–185.

24. Леонов, А. В. Математическое моделирование процессов трансформации органического вещества и соединений биогенных элементов в водной среде: предварительный анализ условий функционирования экосистемы Ладожского озера / А. В. Леонов, М. М. Остащенко, Е. Н. Лаптева // Водные ресурсы. – 1991. – № 1. – С. 61–72.

25. Леонов, А. В. Биотрансформация органогенных веществ в водах залива Анива: оценка с помощью математического моделирования / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 5. – С. 558–574.

26. Леонов, А. В. Моделирование природных процессов: усовершенствованная система отображения результатов расчетов на CNPSi-модели / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. М. Зарипов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2012. – 105 с.

27. Леонов, А. В. Биогидрохимическая модель трансформации органогенных веществ и ее использование для расчета первичной продукции в экосистеме Охотского моря / А. В. Леонов, В. В. Сапожников. – Комплексные исследования Охотского моря : сб. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 143–166.

28. Леонов, А. В. Анализ динамики концентраций органогенных веществ и скоростей продукционно-деструкционных процессов в водах северной части Каспийского моря / А. В. Леонов, В. В. Сапожников // Океанология. – 2000. – Т. 40. – № 1. – С. 37–51.

29. Леонов, А. В. Оценка влияния антропогенных воздействий на экосистему Южно-Уральского водохранилища / А. В. Леонов, М. А. Соколова, Т. Н. Абрамова // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 4. – С. 424–437.

30. *Леонов, А. В.* Сезонные изменения концентраций биогенных веществ и биопродуктивность вод северной части Каспийского моря / А. В. Леонов, О. В. Стыгар // *Водные ресурсы*. – 1999. – Т. 26. – № 6. – С. 743–756.

31. *Леонов, А. В.* Математическое моделирование процессов биотрансформации органических веществ для изучения условий евтрофирования вод поверхностного слоя Каспийского моря / А. В. Леонов, О. В. Стыгар // *Водные ресурсы*. – 2001. – Т. 28. – № 5. – С. 587–605.

32. *Леонов, А. В.* Функционирование экосистемы Белого моря: исследование на основе математической модели трансформации органических веществ / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, Р. Э. Здореннов и др. // *Водные ресурсы*. – 2004. – Т. 31. – № 5. – С. 556–575.

33. *Леонов, А. В.* Математическое моделирование условий функционирования экосистемы губы Чупа Белого моря: трансформация органических веществ и биопродуктивность морской среды / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, Р. Э. Здореннов и др. // *Водные ресурсы*. – 2006. – Т. 33. – № 5. – С. 589–614.

34. *Леонов, А. В.* Трансформация органических веществ в экосистеме Белого моря: оценка по результатам математического моделирования / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, О. В. Чичерина // *Водные ресурсы*. – 2005. – Т. 32. – № 4. – С. 435–451.

35. *Леонов, А. В.* Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2008. – 168 с.

36. *Матишов, Г. Г.* Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрология, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. – Апатиты : Кольский НЦ РАН, 1997. – 404 с.

37. *Миронов, О. Г.* Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами / О. Г. Миронов. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 128 с.

38. *Миронов, О. Г.* Стабильность и дрейф нефтяных пленок в море при малых объемах разлива нефти / О. Г. Миронов // *Комплексные исследования загрязнения Мирового океана в связи с разработкой его минеральных ресурсов* : сб. – Л. : Наука, 1989. – С. 84–89.

39. *Миронов, О. Г.* Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / О. Г. Миронов, Н. Ю. Миловидова, Т. Л. Щекатурина и др. – Киев : Наукова Думка, 1988. – 248 с.

40. *Мишуков, В. Ф.* Комплексные исследования нефтяного загрязнения океана / В. Ф. Мишуков // *Вестник ДВО РАН*. – 1997. – № 4. – С. 105–118.

41. *Моисеев, Л. А.* Биологические ресурсы Мирового океана / Л. А. Моисеев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 368 с.

42. *Назаров, Н. А.* Моделирование водного и биогеохимического циклов лесного водосбора в течение года / Н. А. Назаров, А. В. Леонов // *Водные ресурсы*. – 1999. – Т. 26. – № 1. – С. 35–47.

43. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. – Сер. 3. – Ч. 1–6. – Вып. 34. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 350 с.

44. *Немировская, И. А.* Углеводороды в экосистеме юго-западной части Берингова моря / И. А. Немировская // *Геохимия*. – 1996. – № 2. – С. 165–170.

45. *Немировская, И. А.* Углеводороды воды, взвеси и донных осадков Охотского моря (распределение, формы миграции, генезис) / И. А. Немировская // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря* : сб. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 172–178.

46. *Немировская, И. А.* Органические вещества воды и взвеси сахалинского шельфа / И. А. Немировская, С. В. Люцарев, С. С. Шанин // *Геохимия*. – 1997. – № 9. – С. 959–966.

47. *Нестерова, М. П.* Нефтяное загрязнение Балтийского моря, мониторинг, методы контроля / М. П. Нестерова, И. А. Немировская, Л. М. Гурвич. – М. : Гидрометеиздат, 1986. – С. 35–39.

48. *Панов, Г. Е.* Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности / Г. Е. Панов, Л. Ф. Петряшин, Г. Н. Лысяный. – М. : Недра, 1986. – 77 с.

49. *Патин, С. А.* Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа / С. А. Патин. – М. : ВНИРО, 1997. – 350 с.

50. *Патин, С. А.* Нефть и экология континентального шельфа / С. А. Патин. – М. : ВНИРО, 2001. – 247 с.

51. *Пищальник, В. М.* Гидрохимия и загрязнение морских вод шельфа о-ва Сахалин, прогностические оценки и рекомендации по предотвращению загрязнения : дис. ... канд. геогр. наук / В. М. Пищальник. – Южно-Сахалинск, 1986. – 178 с.

52. *Пищальник, В. М.* Опыт расчета водного баланса зал. Анива / В. М. Пищальник // *Тр. ДВНИГМИ*. – 1990. – Вып. 40. – С. 92–94.

53. *Пищальник, В. М.* Опыт создания компьютеризированного атласа сахалинского шельфа / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря* : сб. – М. : ВНИРО, 1997. – С. 67–78.

54. *Пищальник, В. М.* Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод в проливе Лаперуза / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин // *Вестн. МГУ*. – Сер. 5. География. – 2000. – № 5. – С. 43–47.

55. *Пищальник, В. М.* Термохалинный анализ вод пролива Лаперуза / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // *Водные ресурсы*. – 2005. – Т. 32. – № 1. – С. 18–28.

56. *Пищальник, В. М.* Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, Г. И. Юрасов и др. // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – № 5. – С. 87–95.

57. *Пищальник, В. М.* Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Южно-Сахалинск : изд-во Сах. гос. ун-та, 2000. – Ч. I. – 174 с. – Ч. II. – 108 с.

58. *Пищальник, В. М.* Изучение условий функционирования экосистемы залива Анива–пролив Лаперуза / В. М. Пищальник, А. В. Леонов // *Водные ресурсы*. – 2003. – Т. 30. – № 5. – С. 616–636.

59. *Платпира, В. П.* Микрофлора и трансформация нефтяных углеводородов в морской среде / В. П. Платпира. – Рига : Зинатне, 1985. – 162 с.

60. *Поезжалова, О. С.* Вариации среднего уровня Охотского моря / О. С. Поезжалова, Г. В. Шевченко // *Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией*. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – Т. 8. – С. 131–141.

61. *Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана*. – Т. 8 : Методы и средства борьбы с нефтяным загрязнением вод Мирового океана. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.

62. *Сапожников, В. В.* Комплексные экологические исследования экосистем Берингова и Охотского морей (24-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Александр Несмеянов», 25 июня – 20 августа 1993 г.) / В. В. Сапожников // *Океанология*. – 1994. – Т. 34. – № 2. – С. 309–312.

63. *Сапожников, В. В.* Новые представления о функционировании экосистемы Охотского моря / В. В. Сапожников // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря* : сб. – М. : ВНИРО, 1997. – С. 5–7.

64. *Симонов, А. И.* Современное состояние химического загрязнения вод Северной Атлантики / А. И. Симонов, С. Г. Орадковский, А. А. Юшак // *Метеорология и гидрология*. – 1974. – № 3. – С. 50–61.

65. *Страшкраба, М.* Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / М. Страшкраба, А. Гнаука. – М. : изд-во «Мир», 1989. – 376 с.
66. *Сулейманов, А. Б.* Эксплуатация морских нефтегазовых месторождений / А. Б. Сулейманов, Р. П. Кулиев, Е. И. Саркисов и др. – М. : Недра, 1986. – 285 с.
67. *Тинсли, И.* Поведение химических поллютантов в окружающей среде / И. Тинсли. – М. : Мир, 1982. – 280 с.
68. *Фаст, С. Г.* Динамика соединений фосфора и его внутренние потоки в экосистеме Можайского водохранилища / С. Г. Фаст, А. В. Леонов, Ю. С. Даченко // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 1. – С. 44–58.
69. *Фащук, Д. Я.* Геоэкологические последствия аварийных разливов нефти / Д. Я. Фащук, С. Н. Овсиенко, А. В. Леонов и др. // Изв. АН. Сер. Географ. – 2003. – № 5. – С. 57–73.
70. *Фащук, Д. Я.* Загрязнение прибрежных вод Черного моря: источники, современный уровень, межгодовая изменчивость / Д. Я. Фащук, С. И. Шапоренко // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 2. – С. 233–241.
71. *Флудгейт, Г. Д.* Биологическая деградация углеводородов в морской воде / Г. Д. Флудгейт // Микробиология загрязненных вод : сб. – М. : Медицина, 1976. – С. 135–150.
72. *Цхай, А. А.* Прогноз качества воды проектируемого водохранилища на основе модели трансформации соединений азота и фосфора / А. А. Цхай, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 3. – С. 261–272.
73. *Цыбань, А. В.* Процессы микробного окисления нефти в море (обзор) / А. В. Цыбань, А. И. Симонов // Океанология. – 1978. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 695–708.
74. *Шапоренко, С. И.* Загрязнение прибрежных морских вод России / С. И. Шапоренко // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 3. – С. 320–327.
75. *Atlas, R. M.* Bacteria and bioremediation of marine oil spills / R. M. Atlas // Oceanus. – 1993. – V. 36. – № 2. – P. 71–80.
76. *Atlas, R. M.* Degradation and mineralization of petroleum in sea water: limitation by nitrogen and phosphorus / R. M. Atlas, R. Bartha // Biotechnology and Bioengineering. – 1972. – Vol. XIV. – № 3. – P. 309–318.
77. *Baker, J. M.* Natural recovery of cold water marine environment after an oil spill / J. M. Baker, R. B. Clark, P. F. Kingston et. al. // Proc. of the 13-th Annual Arctic and Marine oil spill program Technical Seminar. – 1990. – 111 p.
78. *Etkin, D. S.* Estimates of oil entering the marine environment in the past decade / D. S. Etkin, M. Nauke, J. Koefoed et. al. // GESAMP Working Group 32 Project, Proc. of the 1999 International Oil Spill Conference. – Washington, D. C. : API, 1999. – P. 25–30.
79. *Fair, G. M.* Water and Wastewater Engineering / G. M. Fair, J. C. Geyer, D. A. Okun. Vol. 2. Water Purification and Wasterwater Treatment and Disposal. J. Wiley & Sons. Inc. – New York-London. 1968. – 659 p.
80. *Grahl-Nielsen, O.* Hydrocarbons and phenols in discharge water from offshore operation. Fate of hydrocarbons in the recipient / O. Grahl-Nielsen // Sarsia. – 1987. – Vol. 72. – № 3–4. – P. 375–382.
81. *Lauber, L.* The AMOCO CADIZ oil spill: an ecological impact study / L. Lauber // AMBIO. – 1980. – Vol. 9. – № 6. – P. 268–276.
82. *Leonov, A. V.* The chemical-ecological modeling of equatic nitrogen compound transformation processes / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1980 a. – WP-80-86. – 121 p.
83. *Leonov, A. V.* Simulation and analysis of phosphorus transformation and phytoplankton dynamics in relation of the eutrophication of Lake Balaton / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1980 b. – WP-80-88. – 30 p.
84. *Leonov, A. V.* Mathematical modelling of phosphorus transformations in the Lake Balaton / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1980 c. – WP-80-149. – 97 p.
85. *Leonov, A. V.* Transfromation and turnover of phosphorus compounds in the Lake Balaton Ecosystem, 1976–1978 / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1981 a. – CP-81-24. – 72 p.
86. *Leonov, A. V.* Phosphorus transformation and water quality in the Ivankovo Reservoir: study by means of a simulation model / A. V. Leonov // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. – 1989. – V. 33. – P. 157–168.
87. *Leonov, A. V.* Applying the Balaton sector model for analysis of phosphorus dynamics in Lake Balaton / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1981 b. – WP-81-118. – 81 p.
88. *Leonov, A. V.* Modelling and explaining the phosphorus dynamics in Lake Balaton, 1976–1979 / A. V. Leonov. – Austria. Laxenburg. Inst. For Applied System Analysis. – 1981 c. – RR-85-3. – 59 p.
89. *Leonov, A. V.* Simulation and analysis of phosphorus transformation and phytoplankton dynamics in relation of the eutrophication of Lake Balaton / A. V. Leonov, O. F. Vasiliev // Progress in Ecol. Mod. And Management by mathem. Modeling: Proc. of the Second Internat. Conf. On Ecol. Modelling. 18-24 Apr. 1980. Liege. Belgium, 1981. – P. 627–656.
90. Marine Pollution Monitoring (Petroleum) Simposium. – USA : Gaithersbad, 1974.
91. *Miura, Y.* Mechanism of liquid hydrocarbon uptake by microorganisms and growth kinetics / Y. Miura, T. K. Ghose, A. Fiechter, H. Blakebrough // Advances in biochemical engineering. Berlin. New York: Springer Verlag, 1978. – V. 9. – P. 31–56.
92. Petroleum in the marine environment. Workshop on inputs, fates and effects of petroleum in the marine environment. – Washington: Airlie House, 1975. – 108 p.
93. *Ramade, F.* Elements D'ecologie Appliquee / F. Ramade. – McGraw Hill Publ., 1978. – 497 p.
94. *Tkalin, A. V.* Background pollution characteristics of the N.E. Sakhalin Island shelf / A. V. Tkalin // Mar. Pollut. Bull., 1993. – Vol. 26. – № 12. – P. 704–706.
95. *Toth, D.* Aerobic nitrogen transformation in water environment: experiments and their mathematical modeling / D. Toth, A. V. Leonov // J. Env. Protection Eng. – 1981. – V. 7. – № 2–4. – P. 167–184.
96. *Varis O.* On the adequacy of large-scale models identified with incomplete field data. A case study with two lake models / O. Varis, J. Kettunen, A. V. Leonov // Aqua Fennica. – 1986. – V. 16. – № 2. – P. 157–165.
97. *Wang, Z.* Study of the Effect of weathering on the chemical composition of a light crude oil / Z. Wang, M. Fingas // Proc. 17 Arctic and Marine oil spill program technical seminar. – Ottawa: Environment Canada, 1994. – V. 1. – P. 133–171.
98. *Wang, X.* Petroleum hydrocarbon distribution features in water and sediment of Fujian shore / X. Wang, L. Xu, W. Li // Chinese J. of Oceanology and Limnology. – 2003. – Vol. 21. – № 2. – P. 187–192.
99. *Wang, L. K.* Computer-Aided Modeling of Stream Purification Capacity / L. K. Wang, M. H. Wang. – Pt.1. Non-Linear DO Models. Proc. Inst. Environ. Techncl. 76. Mt. Prospect III. Philadelphia: PA, 1976. – P. 553–557.
100. *Wilson, R. D.* Natural marine oil seepage / R. D. Wilson, P. H. Monaghan, A. Osanik, et. al. // Science. – 1974. – Vol. 184. – № 4139. – P. 857–865.

Учебное издание

ЛЕОНОВ Александр Васильевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ
ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТРАНСФОРМАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ С, N, P, Si**

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Корректор *В. А. Яковлева*

Верстка *Е. Ю. Иосько*

Подписано в печать 20.12.2012. Бумага «Inасоріа».
Гарнитура «Times New Roman». Формат 70x108^{1/16}.
Тираж 500 экз. (1-й завод 1–150 экз.) Объем 9,25 усл. п. л. Заказ № 693-12.



Издательство Сахалинского государственного университета
693008, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290, каб. 32.

Тел. (4242) 45-23-16, тел./факс (4242) 45-23-17.

E-mail: izdatelstvo@sakhgu.ru, polygraph@sakhgu.sakhalin.ru

Отпечатано в полиграфической компании «Кано».
693020, г. Южно-Сахалинск, ул. Адмирала Макарова, 27, оф. 7.
Тел. (4242) 43-81-57.