

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

А. В. ЛЕОНОВ, В. М. ПИЩАЛЬНИК, О. М. ЗАРИПОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ:
СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
РАСЧЕТОВ НА CNPSi-МОДЕЛИ**

Учебное пособие

Южно-Сахалинск
Издательство СахГУ
2012

УДК 504:556(075.8)
ББК 26.22я73
Л47

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

Рецензенты:

Амбросимов А. К., доктор физико-математических наук;
Зиньков О. В., кандидат геолого-минералогических наук, профессор.

Л47 **Леонов, А. В. Моделирование природных процессов: система отображения результатов расчетов на CNPSi-модели : учебное пособие /**
А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. М. Зарипов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2012. – 160 с.
ISBN 978-5-88811-411-7

Настоящее пособие является наиболее полным руководством 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*. В пособии отображена последовательность операций по установке CNPSi-модели и ее запуска для выполнения расчетов на PC, а также даны рекомендации по настройке связей с базами данных (DB). Описана процедура вызова базы данных DB, которая создается при запуске CNPSi-модели для исследуемого водоема (или его акваторий), приведены примеры построения графиков для расчетных параметров, а также обсуждаются возможности анализа и интерпретации полученных картин внутригодовой динамики расчетных концентраций параметров водной среды.

Учебное пособие предназначено для студентов, аспирантов, научных и практических работников, занимающихся изучением состава природных вод, условий трансформации и биотрансформации компонентов природных вод. Пособие может быть использовано в учебном курсе при изучении следующих дисциплин: «Моделирование природных процессов», «Геоэкология морей и водосборных бассейнов», «Управление природопользованием прибрежных зон», «Охрана окружающей среды» и др.

УДК 504:556(075.8)
ББК 26.22я73

ISBN 978-5-88811-411-7

© Леонов А. В., 2012
© Зарипов О. М., 2012
© Пищальник В. М., 2012
© Сахалинский государственный
университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. УСТАНОВКА ОБНОВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	6
РАЗДЕЛ 2. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ	10
РАЗДЕЛ 3. ПРОЦЕДУРА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ	13
РАЗДЕЛ 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПОСТРОЕННЫХ ГРАФИКОВ ДЛЯ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА И ПРИМЕРЫ ИХ АНАЛИЗА.....	21
4.1. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПЕРЕМЕННЫЕ»	23
4.1.1. Анализ годового хода биомасс гидробионтов	23
4.1.2. Анализ годового хода концентраций БВ, NF и O ₂	34
4.2. Построение графиков по расчетной информации из блока «СУММЫ».....	40
4.3. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПРОДУКЦИЯ»	48
4.4. Построение графиков по расчетной информации из блока «ВРЕМЯ ОБОРОТА».....	53
4.5. Построение графиков по расчетной информации из блока «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ»	61
4.6. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПОТОКИ»	67
Выводы по результатам анализа данных моделирования	73
ЛИТЕРАТУРА.....	81
ПРИЛОЖЕНИЯ (графики и диаграммы изменения в течение года расчетных показателей в Татарском прол., рис. 13–88)	83

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- БВ** – биогенные вещества;
БП – биопродуктивность;
БЭ – биогенные элементы;
В1 – гетеротрофные бактерии;
В4 – НУ-окисляющие бактерии;
ГМС – гидрометеорологическая станция;
НУ, NF – нефтяные углеводороды;
ЗВ – загрязняющие вещества;
ОВ – органическое вещество;
ОБП – общая биопродуктивность;
ПНУ – потребление нефтяных углеводородов бактериями В4;
ТП – термохалинные поля;
T_w – температура воды, °C;
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.

ВВЕДЕНИЕ

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 улучшаются 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 (Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 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 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 термин «пруд»¹) (раздел 2), приведены примеры построения графиков для расчетных параметров (раздел 3), а также обсуждаются возможности анализа и интерпретации полученных картин внутригодовой динамики расчетных концентраций параметров водной среды (раздел 4). Приведенные примеры анализа модельных расчетов будут весьма полезны не только студентам, но и аспирантам и другим специалистам, занимающимся моделированием природных процессов.

Учебное пособие предназначено для студентов, аспирантов, научных и практических работников, занимающихся изучением состава природных вод, условий трансформации и биотрансформации компонентов природных вод. Пособие может быть использовано в учебном курсе при изучении следующих дисциплин: «Моделирование природных процессов», «Геоэкология морей и водосборных бассейнов», «Управление природопользованием приморских зон», «Охрана окружающей среды» и др.

¹ Синонимами используемого в системе отображения термина «пруд» служат термины «водоем» и «акватория». Поэтому надо 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 водного объекта, на которые подразделен исследуемый водоем.

РАЗДЕЛ 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, адаптированной для среды Windows XP. Файл **Setup.exe** находится в папке, предварительно организованной на диске C:\\Никонов_модель\\install (рис. 1).

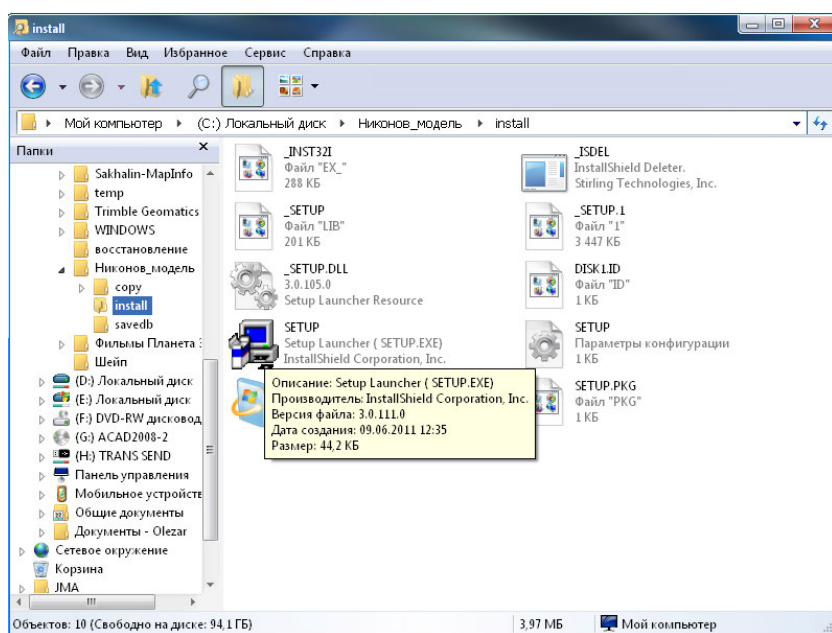


Рис. 1. Вид папки с файлами для запуска инсталляции модели (системы отображения результатов моделирования)

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 установку 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. 2).

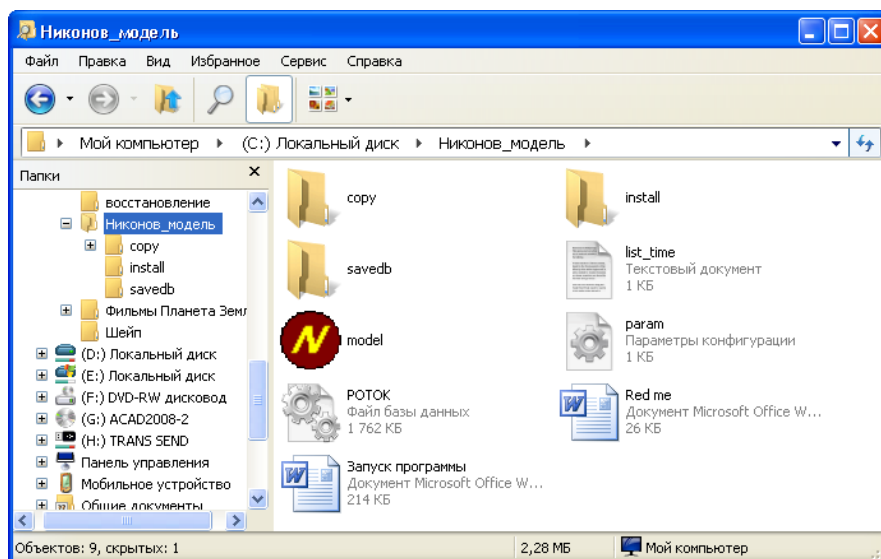


Рис. 2. Вид папки с установленной моделью

Для работы с моделью следует указать путь к базе данных DB, в которой находятся результаты расчетов для построения графиков. Эта база создается в модели, созданной по версии 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 окна

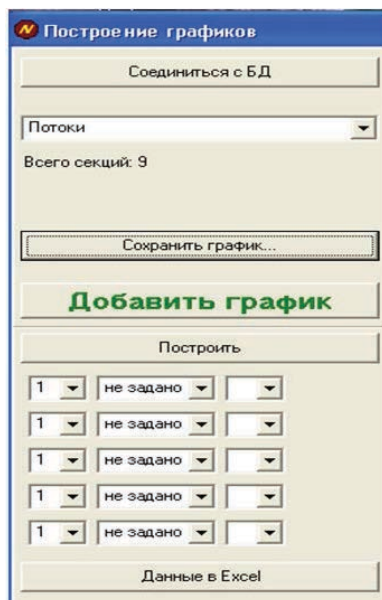


Рис. 3. Фрагмент рабочего окна программы

программы следует нажать на кнопку «**Соединиться с БД**» (рис. 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 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 они иногда 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. 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 – аммонийный N;
NO₂ – нитритный N;
NO₃ – нитратный N;
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);
- фенолоокисляющие 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 – МК), их биомасса вычисляется в единицах N (МКN) и P (МКP).

Концентрации химических и биологических компонентов модели вычисляются в мг Элемента/л (то есть в единицах органогенных элементов C, N, P и Si), а растворенного кислорода – 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 колонке 3 (рис. 3). Эти цифры означают, что из файлов DB, в которых сохранены результаты расчетов для заданных временных массивов переменных, при графировании будет использовано соответственно каждое второе, третье, четвертое, пятое (или > 5) расчетное значение параметра, чтобы «разрядить» общий график изменения во времени его концентрации из-за очень «плотного» расположения на графиках его расчетных значений.

РАЗДЕЛ 2

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

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, Depi_V, WAT, TEMP2, Q1...Q10, PHYS1...PHYS10, CONC1...CONC10 и WIND1...WIND10, **которые характеризуют состояние среды в 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. 4).

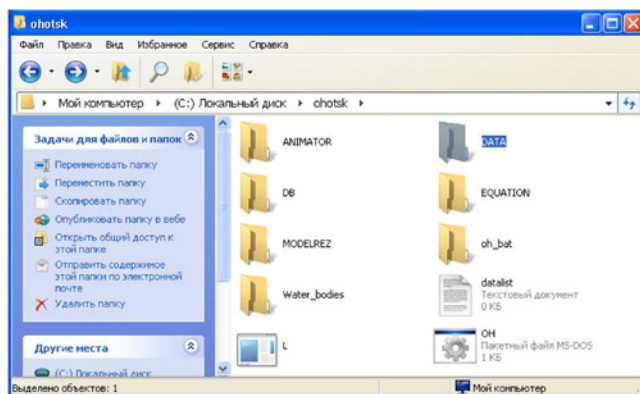


Рис. 4. Вид каталога, в котором находится папка DATA

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 пароль «PONDS» и в открывшемся окне «**Режим работы**» выбрать команду «**Запуск модели**» для выполнения расчета на модели (рис. 5).

При отсутствии ошибок во входных файлах модель начнет выполнять расчеты (рис. 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.

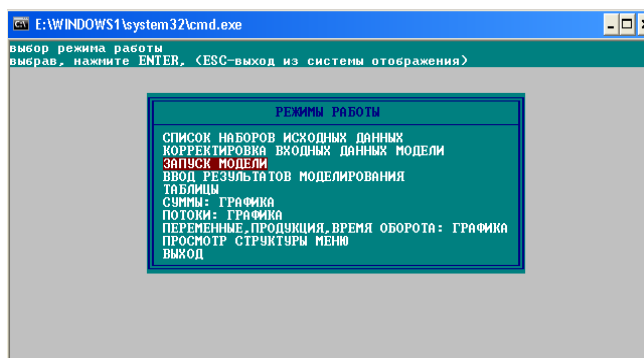


Рис. 5. Вид главного меню модели с активированной командой «Запуск модели»

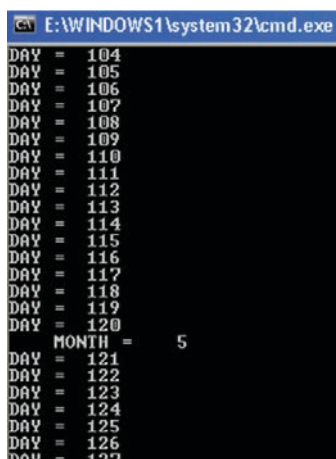


Рис. 6. Фрагмент экрана при выполнении расчетов

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 на экране появляется 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. 7).

При нажатии курсора появляется заставка, на которой высвечивается надпись для пользователя: следует указать «**Количество прудов**», для которых

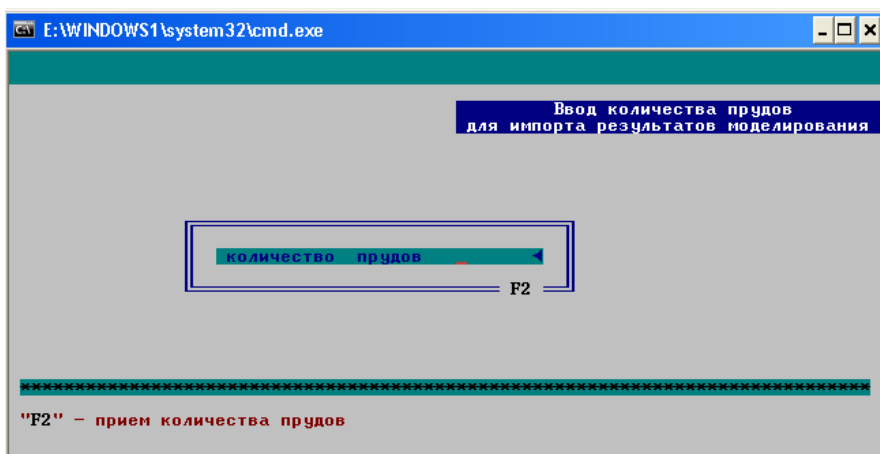


Рис. 7. Вид экрана при вводе количества «прудов» для импорта результатов моделирования

был выполнен расчет. Пользователь должен поставить цифру (от одного до десяти), для какого количества акваторий был выполнен расчет, затем нажать функциональную клавишу «F2», чтобы ввести всю полученную информацию в систему отображения. На заставке указаны все действия 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 на то, что расчет был выполнен для пяти изучаемых акваторий (или «прудов»).

По завершении расчетов необходимо снова войти в CNPSi-модель и подключиться к новой базе данных (раздел 1). После ввода результатов моделирования в систему отображения можно переходить к построению графиков, показывающих изменения во времени расчетных параметров (раздел 3).

РАЗДЕЛ 3

ПРОЦЕДУРА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ

После ввода результатов моделирования (расчетов на CNPSi-модели) в систему графирования и отображения, адаптированную под Windows XP, становится возможным получение наглядных иллюстраций для демонстрации 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 расчетных параметров.

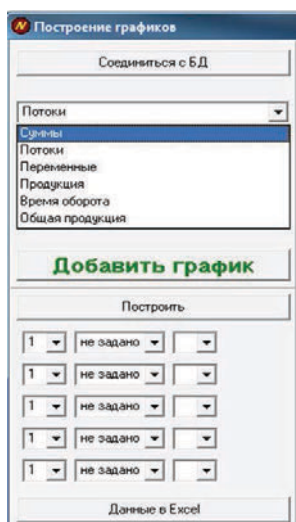


Рис. 8. Вид программы отображения результатов моделирования с раскрытым списком параметров

В зависимости от выбранного блока параметров в верхнем окне модели: «**ПЕРЕМЕННАЯ**», «**СУММЫ**», «**ПОТОКИ**», «**ПРОДУКЦИЯ**», «**ВРЕМЯ ОБОРОТА**», «**ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ**» – включается определенный режим построения графиков (рис. 8). Перечень компонентов блока «**ПЕРЕМЕННАЯ**» показан в разделе 1.

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

Для концентраций форм Р этот перечень включает:

- sumPbac – суммарное содержание Р в биомассах бактерий ($\text{sumPbac} = \text{B1P}$);
- sumPfit – суммарное содержание Р в биомассах фитопланктона ($\text{sumPfit} = \text{F1P} + \text{F2P} + \text{F3P}$);
- sumPzoo – суммарное содержание Р в биомассах зоопланктона ($\text{sumPzoo} = \text{Z1P} + \text{Z2P}$);
- sumPliv – суммарное содержание Р в живом веществе ($\text{sumPliv} = \text{sumPbac} + \text{sumPfit} + \text{sumPzoo} + \text{MKP}$);
- sumPdis – суммарное содержание Р в растворенном веществе ($\text{sumPdis} = \text{DIP} + \text{DOP}$);
- sumPpar – суммарное содержание Р во взвешенном веществе ($\text{sumPpar} = \text{sumPliv} + \text{PD}$);
- totPwat – общее содержание Р в водной среде ($\text{totPwat} = \text{sumPpar} + \text{sumPdis}$);
- totPsed – общее содержание Р в осадках ($\text{totPsed} = \text{PDs} + \text{DIPs}$);
- totP – общее содержание Р 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 ($\text{sumNbac} = \text{B1N} + \text{B2N} + \text{B3N}$);
- sumNfit – суммарное содержание N в биомассах фитопланктона ($\text{sumNfit} = \text{F1N} + \text{F2N} + \text{F3N}$);

- 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 – аммония, 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 ($\text{totNsed} = \text{NDs} + \text{NH}_4\text{s} + \text{NO}_3\text{s}$);
- sedNmin – содержание минерального N в осадках ($\text{sedNmin} = \text{NH}_4\text{s} + \text{NO}_3\text{s}$);
- 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 ($\text{sumSipar} = \text{F1Si} + \text{Z1Si} + \text{SiD} + \text{B1Si}$);
- sumSiliv – суммарное содержание Si в живом веществе ($\text{sumSiliv} = \text{F1Si} + \text{Z1Si} + \text{B1Si}$);
- totSiwat – общее содержание Si в водной среде ($\text{totSiwat} = \text{SiO}_4 + \text{sumSipar} + \text{SiORG}$);
- sumSidis – суммарное содержание Si в растворенном веществе ($\text{sumSidis} = \text{SiO}_4 + \text{SiORG}$);
- totSised – общее содержание Si в осадках ($\text{totSised} = \text{SiDs} + \text{SiO}_4\text{s}$);
- 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 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);

- rb1p – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах P (B1P);
- rb2n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NH_4 -окисляющих бактерий (Nitrosomonas) в водной среде в единицах N (B2N);
- rb3n – 9 потоков для вычисляемой биомассы NO_2 -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);
- gmkr – 8 потоков для вычисляемой биомассы макрофитов в водной среде в единицах P (MKP);
- gcorg – 23 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического C в водной среде (CORG);
- rdon – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического N в водной среде (DON);
- rnd – 22 потока для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) N в водной среде (ND);
- rpd – 20 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) P в водной среде (PD);
- rdop – 22 потока для вычисляемой концентрации растворенного органического P в водной среде (DOP);
- rnh4 – 25 потоков для вычисляемой концентрации растворенного аммонийного N в водной среде (NH_4);
- rno2 – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитритного N в водной среде (NO_2);
- rno3 – 19 потоков для вычисляемой концентрации растворенного нитратного N в водной среде (NO_3);
- rdip – 18 потоков для вычисляемой концентрации растворенного неорганического P 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 N в осадках (NDs);
- rnh4s – 5 потоков для вычисляемой концентрации аммонийного N в осадках (NH_4 s);
- rno3s – 6 потоков для вычисляемой концентрации нитратного N в осадках (NO_3 s);
- rn2 – 9 потоков для вычисляемой концентрации свободного N в водной среде (N_2);
- rpds – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного P в осадках (PDs);
- rdips – 3 потока для вычисляемой концентрации растворенного неорганического P в осадках (DIPs);
- ro2s – 4 потока для вычисляемой концентрации растворенного кислорода в осадках (O_2 sed);
- rn2s – 2 потока для вычисляемой концентрации растворенного N в осадках (N_2 s);
- rf1si – 9 потоков для вычисляемой биомассы фитопланктона первой группы в водной среде в единицах Si (F1Si);
- rsio4 – 14 потоков для вычисляемой концентрации неорганического Si (силикатов) в водной среде (SiO_4);
- rsid – 11 потоков для вычисляемой концентрации взвешенного (детритного) Si 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 единицах N в водной среде (UR);
- rsids – 3 потока для вычисляемой концентрации взвешенного Si в осадках (SiDs);
- rsio4s – 3 потока для вычисляемой концентрации силикатов в единицах Si в осадках (SiO_4 s);
- rb1si – 10 потоков для вычисляемой биомассы гетеротрофных бактерий в водной среде в единицах Si (B1Si);
- rsiorg – 14 потоков для вычисляемой концентрации органического Si 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 фенолоокисляющих 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 N (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 заверченный 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 значения расчетной продукции биомасс гидробионтов для каждого месяца и за год в следующей 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**» вначале 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. 9).

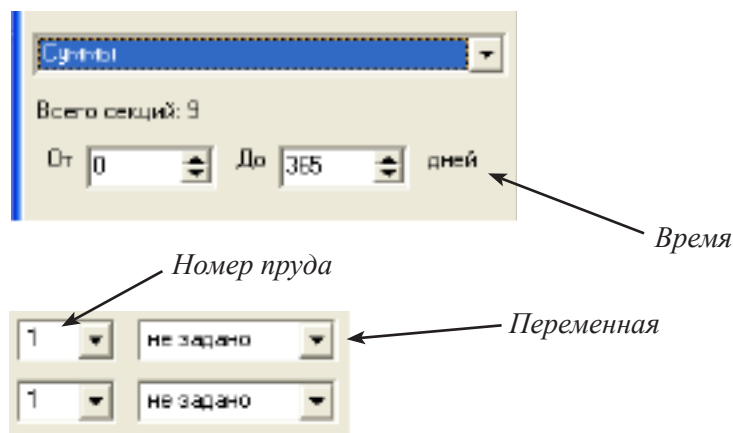


Рис. 9. Фрагменты всплывающих списков выбора временного отрезка, номера пруда и переменной

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. 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. 11).

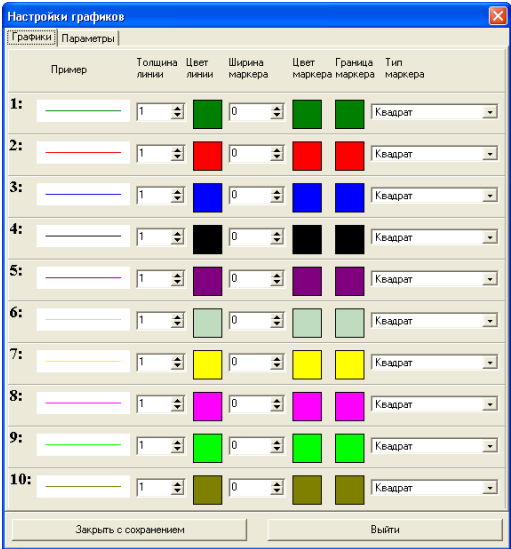


Рис. 10. Вид окна с настройками системы отображения результатов расчетов в виде графиков

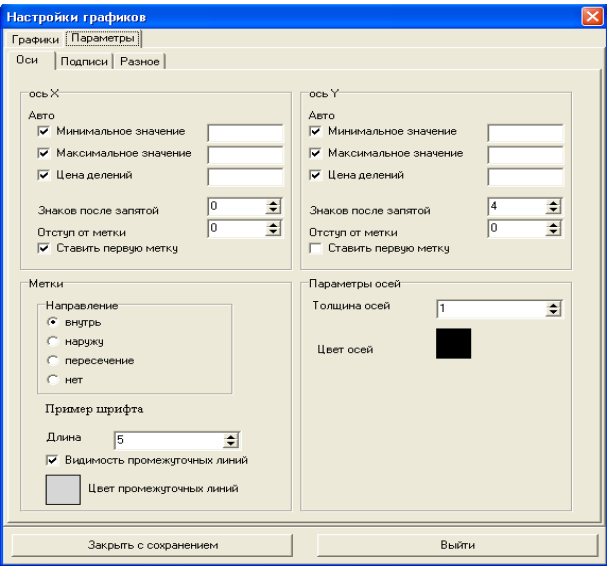


Рис. 11. Вид окна настройки параметров

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.

концентраций химических компонентов и биомасс микроорганизмов регулируется факторами среды (температура, освещенность, прозрачность вод, биогенная нагрузка, водный режим), задаваемыми во входных данных в соответствии со среднемноголетними значениями для каждого месяца. Средние значения указанных характеристик окружающей среды вводятся в модель каждого месяца на день, соответствующий по времени середине временного периода месяца: для января – на 15-е сут от начала года, для февраля – на 14-е сут этого месяца, или на 45-е сут от начала года и так далее). Между этими соседними значениями показателей при проигрывании модели происходит интерполяция численных показателей и вычисление их значений для каждого дня года. Эти вычисленные для каждых суток года (от исходных до конечных, 365-х, сут) значения показателей окружающей среды затем используются в расчетах, так как их значения влияют на скорости химико-биологической трансформации биогенных и загрязняющих веществ и развития биомасс гидробионтов.

Водообмен между выделенными акваториями внутри Татарского прол. и на внешних его границах был оценен с помощью ГИС «Сахалинский шельф» и океанической модели Бергенского университета (БОМ): сначала были извлечены значения температуры, солёности и плотности воды на стандартных разрезах и горизонтах (по обобщенным в ГИС наблюдениям за 1946–1996 гг.), а далее по этим данным с помощью БОМ были вычислены значения скоростей и направлений течений внутри пролива. По этим данным было проведено осреднение показателей переноса вод и были вычислены значения расходов воды на внешних границах пролива и на границах районов 1–3, выделенных внутри него. С учетом вышеуказанных данных, а также на основе информации о морфометрических характеристиках районов 1–3 (средние глубины, площади и объемы воды) были воспроизведены на **CNPSi-модели динамические кри-**вые изменения концентраций биогенных веществ и биомасс гидробионтов, ответственных за содержание биогенных и загрязняющих веществ в отдельных районах пролива. Развитие микроорганизмов происходит в каждом районе с учетом влияния в течение каждого месяца факторов среды, при этом для решения уравнений модели использован временной шаг 0.01 сут, соответствующий возможному времени генерации биологических объектов и условиям окружающей среды, в которых происходит развитие микроорганизмов, влияющее на динамику химических компонентов водной среды.

Представление об изменении активности микроорганизмов и их влияния на химические компоненты оценивается с помощью таких характеристик, как биомассы микроорганизмов, удельные скорости их роста (потребления субстратов питания) и значения биопroduкции каждого вида гидробионтов. По изменению этих параметров можно судить о роли микроорганизмов в трансформации веществ и в осуществлении их круговорота в водной среде.

Таким образом, диапазон временных интервалов, который учитывается в расчетах на модели и при анализе полученных результатов моделирования, составляет от 0.01 сут (шаг проигрывания модели и решения ее уравнений) до суток (для просмотра изменений концентраций химических веществ, биомасс микроорганизмов и показателей их активности), месяцев и сезонов (при расчетах балансов веществ и анализе закономерностей динамики значений биопroduкции и интегральных концентраций веществ) и в целом до года (при рассмотрении общей картины изменения химических и биологических показателей изучаемой водной экосистемы). В целом такое различие разномасштабных по времени процессов традиционно учитывается при реализации экологических моделей и анализе полученных результатов моделирования.

Далее построены с помощью описываемой системы отображения результатов моделирования и обсуждаются графики (рис. 13–88, которые размещены в Приложении) для разных расчетных характеристик.

4.1. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПЕРЕМЕННЫЕ»

Для параметров блока «ПЕРЕМЕННЫЕ» построены графики, характеризующие изменения в течение расчетного года концентраций следующих веществ:

– «соединений N» – биомасс гетеротрофных бактерий, первой группы фито- и зоопланктона в единицах N (B1N, F1N, Z1N) (рис. 13); биомасс второй и третьей групп фито- и хищного зоопланктона в единицах N (F2N, F3N, Z2N) (рис. 14); концентраций химических компонентов – DON, ND и $N_{\min}$ (рис. 15), а также NH_4 , NO_2 и NO_3 (рис. 16);

– «соединений P» – биомасс гетеротрофных бактерий, первой группы фито- и зоопланктона в единицах P (B1P, F1P, Z1P) (рис. 17); биомасс второй и третьей групп фито- и хищного зоопланктона в единицах P (F2P, F3P, Z2P) (рис. 18); концентраций DIP, DOP и PD (рис. 19);

– «соединений Si» – биомасс гетеротрофных бактерий, первой группы фито- и зоопланктона в единицах Si (B1Si, F1Si, Z1Si) (рис. 20); концентраций SiO_4 , SiORG и SiD (рис. 21);

– «соединений C и O₂» – биомасс гетеротрофных бактерий в единицах C (B1C), концентраций CORG и O₂ (рис. 22);

– «NF и B4C» – концентраций NF и биомасс NF-окисляющих бактерий B4C (рис. 23).

Проведем краткий анализ изменений в течение года значений расчетных параметров состояния морской среды, информация о которых в процессе реализации CNPSi-модели размещается в блоке «ПЕРЕМЕННЫЕ».

4.1.1. Анализ годового хода биомасс гидробионтов

До настоящего времени особенности сезонных изменений биомасс гидробионтов (в частности, гетеротрофных бактерий, доминирующих групп фито- и зоопланктона) в акваториях дальневосточных морей остаются практически не исследованными. В значительной степени это связано с трудоемкими аналитическими методами, используемыми в практической гидробиологии для определения биомасс микроорганизмов, ответственных за биотрансформацию соединений БЭ. Например, биомасса бактерий в гидробиологических исследованиях рассчитывается по данным общей численности бактерий и среднего объема клеток бактерий. Объем клеток бактерий определяется отдельно для каждой их формы по соответствующим формулам (для кокков – по формулам объемов шара, для палочек – по формулам цилиндров, для овальных форм – по формулам эллипсоида). Массу бактерий определяют по расчетному объему с учетом удельного веса бактерий. При таких расчетах допустимы погрешности в 1.5–2 раза [Руководство..., 1980].

Биомасса фитопланктона выражается массой особей популяции или сообщества на единицу площади (m^2 , km^2 , га) или объема (мл, л, cm^3 , m^3). Ее обычно выражают в единицах массы вещества (сырого, сухого, сухого обеззоленного)

или органического С. Реже используются другие единицы выражения биомассы (калории, содержание N, глюкозы, аденозинтрифосфата).

Биомасса популяции фитопланктона, как и биомасса бактерий, вычисляется на основе среднего объема клеток каждого вида (их разнообразие оценивается при подсчете общей численности клеток при количественной обработке проб, отбираемых для таких аналитических работ). Формы клеток фитопланктона сопоставляют с подобными по форме геометрическими фигурами. Далее измеряют параметры клеток и затем вычисляют их объемы в соответствии с формулами для выбранных геометрических фигур, подобных по формам клеткам исследованного фитопланктона. После сложения полученных данных вычисляют средний объем клетки данного вида. Удельный вес водорослей равен единице, тогда масса их клеток эквивалентна их объему. Биомасса популяции вида оценивается при умножении их численности на массу, а суммирование биомассы для каждого вида дает значение для всего сообщества фитопланктона в пробе [Руководство..., 1980].

Для сравнения массы бактерий с биомассой (например, планктона) и с запасами органического вещества (ОВ) ее выражают в граммах С под квадратным метром поверхности воды (г С/м^2). При этом учитывается, что 1 г сырой массы бактерий содержит: 0.8 г (или 80 %) воды и 0.2 г (или 20 %) сухого вещества, включая 0.18 г (или 90 % сухой массы) ОВ и 0.02 г (или 10 % сухой массы) минеральных веществ. Содержание С принимается равным 10 % сырой массы, а пересчетные значения коэффициентов составляют: г сырой массы бактерий равен 0.1 г С и 1 г сухой массы бактерий равен 0.5 г С [Руководство..., 1980].

В природном фитопланктоне содержится 82 % воды и 35 % сухого остатка; содержание С в обеззоленном веществе водорослей в среднем составляет 50 % (колеблется в пределах 40–60 %), а сырая их биомасса содержит 6 % С. У пресноводного фитопланктона С составляет 10 % от общего объема его биомассы. Такое возможно, так как зольность пресноводного фитопланктона ниже, чем морского. При пересчетах рекомендуется всегда указывать, какие сделаны допущения.

Переход от численности к массе морского фитопланктона следует производить по уравнению:

$$\text{мкг С/л} = 0.06 \sum_{i=1}^n n_i V_i,$$

а для пресноводного фитопланктона – по формуле:

$$\text{мкг С/л} = 0.1 \sum_{i=1}^n n_i V_i,$$

где n_i – численность клеток i -го вида и V_i – средний их объем [Руководство..., 1980].

В гидробиологии общепризнан факт, что количественные соотношения между разными единицами выражения биомассы микроорганизмов существенно различаются, поэтому сопоставление разных данных проводить достаточно сложно [Руководство..., 1980].

В естественных условиях процесс создания биомассы живого вещества (микроорганизмов, обитающих в природных водах) сложен и зависит от многих факторов (физических, химических, биологических). Существенную роль в этом процессе играют гидрохимические факторы. При создании своей биомассы микроорганизмы извлекают из биогенных веществ, имеющих в водной среде и поступающих в нее из внешних источников, многие химические элементы, которые необходимы для регуляции важнейших жизненных функ-

ций живого вещества (дыхание, обмен веществ, размножение) [Гершанович и др., 1990]. Такие элементы, как C, Si, N и P, постоянно содержатся в биомассах живого вещества, они незаменимы для осуществления их жизненных функций. Возвращение биогенных веществ микроорганизмами в окружающую водную среду происходит в виде продуктов обмена в процессе их жизнедеятельности, а также при распаде органического детрита (остатков отмершей части биомассы). При неизбежном возрастании антропогенного воздействия на среду обитания в современных условиях становится весьма важной в целом биогеохимическая роль живого вещества, так как активное участие микроорганизмов обеспечивает преобразование и трансформацию не только имеющихся в окружающей среде веществ, но и поступающих из внешних источников загрязняющих веществ, что способствует осуществлению общего круговорота важнейших биогенных элементов и их соединений в природе и, в частности, в гидросфере [Биогеохимия..., 1983].

Количественными показателями живого вещества, которые можно использовать для оценки его биогеохимической роли, служат вес живого вещества (биомасса, а иногда для этого используют численность клеток) и качественный состав (форма присутствия в окружающей среде). Активность живого вещества оценивается разными показателями (например, скоростями формирования биомассы, деления клеток, накопления отдельных элементов в клетках, потребления биомассой кислорода и разных веществ/субстратов питания и др.).

Особенно показательны оценки связывания живым веществом отдельных элементов в биомассе фитопланктона – первичных продуцентов ОВ. Эта величина характеризует вес живого вещества фитопланктона, созданного за единицу времени (обычно используются единицы времени сутки, сезон или год). За год у главного продуцента ОВ фитопланктона в океане (диатомовых водорослей) сменяется > 300 поколений. Время генерации диатомовых водорослей составляет > 1 сут (у бактерий активность существенно выше и время их генерации измеряется часами). Вторичная продукция создается за счет активности гетеротрофных микроорганизмов (бактерий и зоопланктона). Таким образом, в естественных условиях функционирование сообщества микроорганизмов обеспечивает многократную оборачиваемость биогенных элементов и их соединений, которые служат субстратами питания и поддерживают жизнедеятельность микроорганизмов в водных экосистемах [Биогеохимия..., 1983].

Весьма значима для функционирования морских экосистем роль таких элементов, как Si, N и P, которые присутствуют в небольших концентрациях в форме растворенных (органических и минеральных) и взвешенных фракций. Соединения указанных элементов активно участвуют в биогео- и гидрохимических процессах и составляют исходную материальную базу биологической продуктивности экосистем. Количество таких элементов, большая изменчивость концентраций их соединений (органических и неорганических), сложные циклы преобразований и трансформации веществ вместе с другими действующими факторами (физическими и биологическими) оказывают существенное влияние на динамику и пространственное распределение биологической продуктивности всех звеньев трофической цепи [Гершанович, Муромцев, 1982].

В морской среде эти элементы присутствуют в малых количествах и, как правило, они (в отдельности или совместно) являются основными лимитантами развития первичной продукции и образования фитопланктоном ОВ. Содержание в морской воде соединений N и P составляет единицы мг/л, а соединений Si – > 100 мг/л. Резкая недонасыщенность морской воды этими веществами ощущается даже при максимальных концентрациях в ней соединений указан-

ных элементов [Иваненков, 1979]. К важным биогенным элементам относятся и С, однако его концентрация в сравнении с N, Si и P всегда достаточная для процессов создания биомасс микроорганизмов [Гершанович, Муромцев, 1982]. Указанные биогенные элементы активно вовлекаются в оборот микроорганизмами, причем обмен этими элементами между водной средой и биомассами микроорганизмов – циклический процесс, в котором можно выделить стадии синтеза биомассы и регенерации биогенных веществ.

Потребляя имеющиеся в воде соединения биогенных элементов в качестве субстратов питания, микроорганизмы синтезируют свою биомассу и накапливают в клетках биогенные элементы в определенных пропорциях. Эти соотношения могут измеряться в двух формах – в массовой (весовой) либо в атомной (с учетом молекулярных весов элементов). Обзор многочисленных литературных данных, в которых представлены оцененные соотношения элементов N/P в биомассах фито- и зоопланктона, показал общий разброс этих значений, измеренных в атомной форме, от 5:1 до 28:1 [Иваненков, 1979 б]. Соотношения накапливаемых в биомассах биогенных элементов могут меняться в зависимости от ряда факторов. Например, А. П. Виноградов, обобщив данные по изменению C:Si:N:P в биомассах разных видов планктона, получил следующие значения этих соотношений (по массе на сухое вещество): для диатомовых водорослей – 31:30.8:4:1, для перидиниевых – 60:4:8:1, для сине-зеленых – 40:1:9:1; для копепод зоопланктона эти соотношения составили 45:0.1:10:1 [цит. по Иваненков, 1979 а]. Установлено также, что отношение N/P в биомассах зоопланктона, как правило, выше, чем у фитопланктона [Spencer, 1975]. Накопление элементов в биомассах видов в целом служит характеристикой условий их питания в процессе развития биомасс [Redfield et al., 1963].

На примере соотношения N/P было показано, что в биомассах фитопланктона оно может меняться в зависимости от исследованных районов океана (например, высокие значения были найдены в Средиземном море, а низкие – в водах Южной Атлантики). Обычно низкие значения N/P обнаруживаются в прибрежных водах. Для поверхностных вод эти отношения могут меняться от крайне низких (иногда приближаются к нулю при устранении фитопланктоном практически всех нитратов) до высоких значений (например, до 25:1) [Spencer, 1965]. Колебания N/P в биомассах планктона происходят в зависимости от сезонов года: они понижены летом (часто отмечается для поверхностных вод) и, как правило, выше зимой. Например, в прибрежных водах Новой Англии летом отношение N/P в биомассе фитопланктона было около нуля, а зимой составляло (5–10):1. Также отмечены колебания N/P в зависимости от глубины океана: в водах континентального шельфа значения N/P в биомассе фитопланктона менялись в пределах (1.2–7.1):1, а в водах на глубинах эти колебания составляли (11–14.6):1 [Armstrong, 1965].

Изменения соотношений биогенных элементов в толще вод океана особенно резки в эвфотической зоне, где отношения N/P и Si/P являются функцией ряда факторов (прежде всего интенсивности биохимических процессов – ассимиляции биогенных элементов фитопланктоном) и их регенерации. В более глубоких слоях определяющим фактором подобных изменений являются динамические процессы и в меньшей степени биохимические (деструкция органогенного материала). Поскольку ассимиляция биогенных элементов фитопланктоном и их возврат в морскую воду (при регенерации элементов) должны происходить в одинаковых отношениях, то изменение их в океане можно рассматривать как показатель трансформации органогенного материала [Гусарова, 1981].

В литературе отмечается, что отношение N/P в биомассах фитопланктона может выдерживаться практически постоянным для многих водных масс. Полагают, что наблюдаемые аномалии в отношениях N/P для биомасс фитопланктона связаны с переходными состояниями и с естественными сукцессиями в развитии планктонных сообществ, а для достаточно продолжительной временной шкалы следует принять постоянными соотношения N/P для элементов (или веществ), извлекаемых из морской среды и накапливаемых планктоном в биомассах [Spencer, 1975]. Также предполагается, что статистическая однородность в составе накапливаемых в биомассах элементов более подходит для значительных масс воды, где усреднены возможные колебания соотношений элементов, вызванные отдельными (краткопериодными) нарушениями условий питания сообщества планктона [Redfield, et al., 1963].

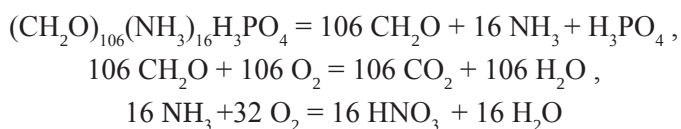
С учетом видового состава фито- и зоопланктона в общей массе океанического планктона предложенные средние атомные соотношения принципиальных элементов C, N, P в органических биомассах фито- и зоопланктона оценены равными соответственно 108:15.5:1 и 103:16.6:1 (среднее для планктона C:N:P = 106:16:1). Соотношение Si:N:P в целом для планктона составляет 31:16:1 (атомное) и 28:14:1 (весовое) [Redfield, 1934; 1942; Redfield, et al., 1963]. По другим источникам, отношения C:Si:N:P в биомассах фитопланктона в весовых единицах составили 42:28:7:1, а в атомных – 108.5:31:15.5:1; для биомассы зоопланктона среднее весовое отношение C:N:P оценено равным 40:7.4:1, а для планктона в целом среднее C:N:P в весовых единицах составляет 41:7.2:1, а в атомных – 106:16:1 [Sverdrup et al., 1942]. Эти отношения позволяют судить об избытке или недостатке основных биогенных элементов, требуемых для создания биомассы, а также они используются для выявления того элемента, который потенциально лимитирует развитие продукции [Гершанович, Муромцев, 1982].

На стадии регенерации соединения биогенных элементов возвращаются в водную среду в виде продуктов распада и метаболических выделений микроорганизмов, а также при распаде органического детрита (отмершей биомассы). Процессы синтеза биомассы и регенерации биогенных веществ развиваются в водной среде непрерывно, обеспечивая тем самым многократную оборачиваемость биогенных веществ, столь необходимую для поддержания постоянной жизнедеятельности сообщества микроорганизмов в водной среде.

Важная для биогидрохимии морских вод особенность состоит в том, что элементы N и P присутствуют в морской среде в таких же пропорциях, в каких они утилизируются и накапливаются в биомассах планктона [Redfield et al., 1963]. Если учитывать эти пропорции и принимать их постоянными, то представляется возможным на основании данных наблюдений оценивать гидрохимические условия формирования продуктивности (или органогенного материала) морской среды и конкретно развития в ней продукционно-деструкционных процессов. На основе установленных средних соотношений N/P, извлекаемых из водной среды и накапливаемых в биомассе фитопланктона при создании ими ОВ, условно принятых постоянными и равными N:P = 16:1, представляется возможным оценить не только эти потоки веществ, но также рассчитать потребление O_2 , расходуемого на окисление компонентов ОВ при развитии процессов регенерации биогенных веществ. Кислород – элемент, образующийся при фотосинтезе фитопланктона и расходуемый в процессах последующего окисления продуктов биосинтезированного им органогенного материала [Redfield et al., 1963]. При распаде конкретного количества ОВ масса потребленного O_2 должна определяться количеством окисленных соединений (биогенных веществ) в зависимости от элементного состава планктона [Redfield, 1934].

Для таких расчетов может быть применена стехиометрическая модель ОВ, в которой в среднем окисленное состояние С рассматривается таким же, как в углеводах (CH_2O), связанный N принимается в аминной форме (NH_3) и окисленное состояние Р – как в фосфорной кислоте (H_3PO_4). Общая формула ОВ с учетом среднего соотношения $\text{C:N:P} = 106:16:1$ имеет вид – $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ [Richards, 1965]. Отмечается, что состав ОВ по этой модели близок по составу природным органическим соединениям [Алекин, Ляхин, 1984].

Согласно этой стехиометрической модели, первая ступень распада ОВ связана с гидролитическим расщеплением и выделением ионов NH_4^+ и PO_4^{3-} конкурентно с дыханием или биохимическим окислением CH_2O , что в целом воспроизводится следующими уравнениями:



и общим уравнением:

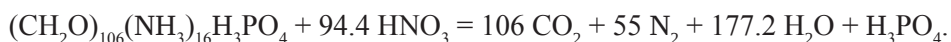


Таким образом, полное окисление ОВ, связанное с одним атомом Р, требует 276 атомов O_2 и будет связано с выделением воды и одного иона фосфатов, 16 ионов нитратов и 106 молекул CO_2 . Согласно этой модели, при аэробных условиях при окислении 1 мг $\text{C}_{\text{орг}}$ расходуется 3.47 мг (или 2.43 мл) O_2 , выделяется 12.64 мкмоль N и 0.79 мк-моль Р [Алекин, Ляхин, 1984].

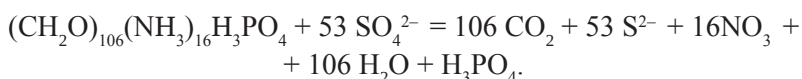
Уравнения, представленные выше, применимы к полному окислению ОВ, но ясно, что промежуточные стадии его окисления также воспроизводятся в океане присутствием ионов аммония и нитритов и растворенных органических веществ N и Р. Однако полное окисление ионов нитратов образует гораздо более полный резерв соединений N в океане.

Так как свободный O_2 присутствует в большей части морской среды, то вышепредставленные уравнения должны воспроизводить окисление ОВ в большей части океана так же хорошо, как и в средах, приближающихся к аноксийным условиям, пока весь или почти весь O_2 не будет потребленным.

После исчерпания в воде O_2 окисление ОВ происходит за счет O_2 нитратов (процесс называется денитрификацией) и записывается следующим уравнением:



При исчерпании нитратов окисление продолжается за счет O_2 сульфатов (процесс сульфатредукции), который воспроизводится следующим уравнением:



Приведенные в стехиометрической модели соотношения для окисления ОВ кислородом сульфатов соответствуют количествам аммиака и сульфидов в сероводородной зоне Черного моря [Алекин, Ляхин, 1984].

Соотношения между С, N, Р и Si в данной модели ОВ сохраняются постоянными для процессов синтеза биомассы и разложения компонентов ОВ в водах

океана. Однако эти соотношения имеют смысл только для «свежеобразованного» ОВ (живой биомассы) или для начальной стадии разложения ОВ. Как показано Иваненковым [1979 а, б], окисление в ОВ компонентов Р на разных глубинах океана проходит быстрее, поэтому отношение органических компонентов N/P увеличивается с глубиной, а отношение N/P минеральных компонентов остается меньше стехиометрического отношения. Также при развитии процессов нитрификации в растворенных компонентах ОВ наблюдается снижение доли N в сравнении с Р.

Стехиометрические соотношения элементов могут применяться при анализе гидрохимических данных для расчета первичной продукции ОВ, образования O_2 и извлечения биогенных веществ из воды при фотосинтезе, а также для оценки биохимического потребления O_2 [Richards, 1965]. Однако попытки применения стехиометрической модели ОВ для описания продукционно-деструкционных процессов отдельных элементов экосистемы не дали положительных результатов ни при анализе результатов наблюдений, ни для описания данных направленных экспериментов. Близкие стехиометрическим соотношения между изменениями концентраций растворенного O_2 и биогенных элементов обнаруживались только в экспериментах с большими объемами воды. В водной толще стехиометрические соотношения элементов при анализе деструкционных процессов также не могут приниматься постоянными [Гершанович и др., 1990].

В данном исследовании значения биомасс гидробионтов рассчитываются с помощью CNPSi-модели в единицах нескольких биогенных элементов (N, P, Si и C), в частности, гетеротрофных бактерий B1 – в C, Si, N и P; фитопланктона первой группы, F1, и растительного зоопланктона Z1 – в Si, N и P; фитопланктона второй и третьей групп (F2 и F3) и хищного зоопланктона Z2 – в N и P. Это дает возможность конкретно оценивать вклад имеющихся в водной среде биогенных элементов (C, N, P, Si), рассредоточенных в разных их соединениях (органических и минеральных), в создаваемую биомассу гидробионтов (бактерии, фито- и зоопланктон), а также определять скорости биологического круговорота (или расчетным путем оценивать максимальное количество живого вещества – бактерий, фито- и зоопланктона, которое одновременно образуется и разлагается за единицу времени в заданных меняющихся в течение года условиях среды обитания). Условия среды, а именно наличие и изменение в ней биогенных веществ (точнее, ассортимент и их концентрации), определяют химический состав создаваемой биомассы представителей отдельных видов и биологического сообщества в целом. Таким образом, с помощью CNPSi-модели удается подойти к изучению одной из важнейших задач современной биогео- и гидрохимии – увязыванию условий среды с образованием в ней биомассы и ее последующего влияния на состав БВ в водной среде.

Выявленная пространственная неоднородность изменения концентраций БВ в районах 1–3 (следствие отличий факторов среды) отражается на условиях формирования запасов БВ, их трансформации и, следовательно, активности микроорганизмов в водной среде указанных районов в течение отдельных сезонов и всего года. Динамика биомасс микроорганизмов, вычисляемая в единицах нескольких биогенных элементов (C, N, P, Si), должна наглядно демонстрировать влияние различий в условиях среды и, в частности, пополнения и расходования запасов БВ при формировании биомасс микроорганизмов. Поскольку расчетная внутригодовая динамика биомасс микроорганизмов отражает соответствие условиям среды, то ее увеличение или снижение в течение года показывает реакцию микроорганизмов на изменения отдельных ее

факторов (температура, освещенность, прозрачность водной среды, содержание питательных БВ, условия пространственного переноса БВ). Такой подход можно считать усовершенствованием подхода, который ранее предлагался на основе стехиометрической модели ОВ по увязыванию концентраций биогенных веществ и формированию биомасс планктона.

Расчеты и представление биомасс микроорганизмов в единицах разных биогенных элементов обнаруживают существенные различия условий среды в районах 1–3. Это проявляется в том, что характерные сезонные промежуточные максимумы развития биомасс микроорганизмов в конкретных единицах (С, Si, N и P) формируются в изучаемых районах в разные сроки и в течение года количество максимумов биомасс гидробионтов в разных районах может меняться от одного до трех в зависимости от особенностей видового состава сообщества гидробионтов и их обеспеченности питательными БВ. Значения этих максимумов отличаются и могут смещаться во времени (в зависимости от района и от элемента, в котором выражена биомасса). Время образования максимума биомассы, а также значения удельных скоростей ее роста k_0 служат показателями условий среды и обеспеченности микроорганизмов субстратами питания, необходимыми для развития биомассы. Как правило, первый максимум биомасс формируется к началу весны, а второй – в конце лета–начале осени. Выявленное в расчетах некоторое смещение по времени сроков образования максимумов биомасс микроорганизмов в районах 1–3 в весенний период происходит в основном из-за различий в условиях прогрева водной среды, а летом–осенью – вследствие разной интенсивности круговорота БВ и обеспечения ими (как субстратами питания) микроорганизмов. Именно поэтому анализ изменений значений биомасс гидробионтов следует проводить одновременно с анализом изменения концентраций органических и минеральных БВ, а также с характеристикой внутригодовых изменений удельных скоростей роста их биомасс.

Ниже приведен пример такого анализа результатов моделирования на основе построенных графиков изменения характеристик состояния морской среды – биомасс гидробионтов (рис. 13–14, 17–18, 20, 22, 23) и концентраций органических и минеральных БВ (рис. 15, 16, 19, 21–23). Для характеристики особенностей динамики биомасс гидробионтов использованы также данные моделирования – внутригодовые изменения удельных скоростей роста биомасс (в единицах N) гидробионтов, показанных на рис. 30 (для B1, F1 и Z1) и рис. 31 (для F2, F2 и Z2).

Динамика годового хода биомасс гетеротрофных бактерий B1 – в единицах N (рис. 13), P (рис. 17), Si (рис. 20), C (рис. 22). Расчеты изменения биомассы B1 показывают, что в течение года в районах 1–3 образуется по два их максимума, которые четко прослеживаются в единицах P, Si и C. В районе 1 первый максимум B1 формируется в мае – на 132-е сут в единицах C (0.7293 мг C/л) и на 137-е сут в единицах Si (0.1800 мг Si/л) и N (0.1504 мг N/л) и в начале июня – на 154-е сут в единицах P (0.0438 мг P/л). Отметим, что наибольшие значения удельной скорости роста биомассы B1 ($k_{0B1} = 0.6216 \text{ сут}^{-1}$) отмечаются раньше (в конце апреля – на 120-е сут). После достижения максимума биомасса B1 начинает снижаться, и ее промежуточный минимум (в единицах C, Si и P) приходится на середину сентября – на 260-е сут (0.1019 мг C/л, 0.0423 мг Si/л и 0.0146 мг P/л), а в единицах N – на середину ноября – на 312-е сут (0.0058 мг N/л).

Второй максимум B1 формируется к середине ноября (312–319-е сут) и составляет 0.2994, 0.1274 и 0.0452 мг/л соответственно в единицах C, Si и P. В единицах N второй максимум B1 составляет 0.0087 мг N/л и не выражен столь значительно, как в единицах C, Si и P. Значения k_{0B1} , определяющие формирование

второго максимума В1, составляют $k_{об1} = 0.0307-0.0608 \text{ сут}^{-1}$. К концу года концентрации В1 в районе 1 снижаются до 0.0421, 0.0201, 0.0063 и 0.0126 мг/л в единицах С, Si, N и P соответственно.

В сравнении с районом 1 в районе 2 первый максимум В1 в единицах С и Si формируется раньше (к середине апреля) и фиксируется соответственно на 108-е сут (0.7138 мг С/л) и на 113-е сут (0.2154 мг Si/л). В единицах N и P его формирование происходит во вторую половину мая – соответственно на 142-е сут (0.0879 мг N/л) и на 152-е сут (0.0299 мг P/л). Условия развития этого максимума В1 определяются значениями $k_{об1} = 0.2906-0.3287 \text{ сут}^{-1}$. Дальнейшее изменение биомассы В1 происходит так же, как и в районе 1: сначала она уменьшается и к концу августа на 231–233-е сут отмечаются значения биомасс В1 0.0820, 0.0309 и 0.0082 мг/л соответственно в единицах С, Si и P, а затем возрастает. Второй максимум В1 в единицах С и Si приходится на начало ноября, на 312-е сут – 0.2205 мг С/л и 0.0884 мг Si/л, а в единицах P – на начало декабря, на 346-е сут – 0.0281 мг P/л. Его формирование определяют значения $k_{об1} = 0.0333-0.0493 \text{ сут}^{-1}$. Второй максимум В1 в районе 2 не фиксируется, к концу года здесь биомасса В1 снижается до 0.1171, 0.0524, 0.0006 и 0.0245 мг/л соответственно в единицах С, Si, N и P.

В сравнении с районами 1 и 2 в районе 3 условия более благоприятны для развития биомассы В1, и с начала года здесь сразу начинается образование пика В1 (в единицах С, N, P и Si). Уже к середине января достигается их первый максимум: на 17-е сут в единицах Si (0.1870 мг Si/л) и на 20-е сут в единицах С (0.3270 мг С/л). В этот период значения $k_{об1}$ колеблются в пределах $k_{об1} = 0.5029-0.5675 \text{ сут}^{-1}$. Далее в феврале (на 36-е сут) формируется максимум В1 в единицах N (0.0690 мг N/л, а на 89-е сут – в единицах P (0.0330 мг P/л) при соответствующих значениях $k_{об1} = 0.0056-0.0104$ и $0.0036-0.0150 \text{ сут}^{-1}$. Затем в районе 3 отмечается тенденция общего снижения биомассы В1, причем ее минимальные значения приходятся на конец августа (231–233-е сут) и составляют $B1C = 0.0820 \text{ мг С/л}$, $B1Si = 0.0350 \text{ мг Si/л}$, $B1N = 0.0090 \text{ мг N/л}$, $B1P = 0.0120 \text{ мг P/л}$. В оставшуюся часть года сохраняется общая тенденция увеличения биомассы В1 в водах района 3 при значениях $k_{об1} = 0.0416-0.0574 \text{ сут}^{-1}$ на 262–264-е сут. К концу года значения биомасс В1 составляют: $B1C = 0.4880 \text{ мг С/л}$, $B1Si = 0.2380 \text{ мг Si/л}$, $B1N = 0.0980 \text{ мг N/л}$ и $B1P = 0.1260 \text{ мг P/л}$.

Динамика годового хода биомасс диатомовых водорослей F1 и растительного зоопланктона Z1 – в единицах N (рис. 13), P (рис. 17) и Si (рис. 20). Расчетная динамика биомасс F1 и Z1 первых групп фитопланктона F1 и зоопланктона Z1, вычисляемых в единицах Si, N и P, также обнаруживает формирование в течение года в разных районах нескольких их максимумов. В районе 1 два максимума развития F1 в единицах Si приходятся на начало мая (125-е сут) при значениях удельной скорости их роста $k_{оF1} = 1.0201-1.0103 \text{ сут}^{-1}$ и конец октября (300-е сут) при $k_{оF1} = 0.6362-0.6485 \text{ сут}^{-1}$ – соответственно $F1Si = 0.0479$ и 0.0535 мг Si/л (рис. 19). В единицах N формируется лишь один максимум F1 – в начале мая, на 130-е сут, равный $F1N = 0.0338 \text{ мг N/л}$ при $k_{оF1} = 0.3385-0.4505 \text{ сут}^{-1}$. В единицах P образуется два максимума F1 – в начале июня (на 156-е сут) – $F1P = 0.0013 \text{ мг P/л}$ при $k_{оF1} = 0.1245-0.2202 \text{ сут}^{-1}$ и в начале ноября (310-е сут) – $F1P = 0.0089 \text{ мг P/л}$ при $k_{оF1} = 0.4934-0.6034 \text{ сут}^{-1}$.

В сравнении с районом 1 формирование первых хорошо выраженных максимумов F1 в районах 2 и 3 происходит раньше. В районе 2 в единицах Si первый (небольшой) максимум F1 приходится на конец января, 22-е сут ($F1Si = 0.0053 \text{ мг Si/л}$) при $k_{оF1} = 0.4404-0.4486 \text{ сут}^{-1}$, второй (более высокий) – на начало апреля, 94-е сут ($F1Si = 0.0270 \text{ мг Si/л}$ при $k_{оF1} = 0.5689-0.5754 \text{ сут}^{-1}$)

и третий – на конец октября, 293-е сут ($F1Si = 0.0308$ мг Si/л при $k_{0F1} = 0.4648-0.5087$ сут⁻¹). В единицах N первый и второй максимумы F1 формируются соответственно в конце января, 22-е сут ($F1N = 0.0063$ мг N/л при $k_{0F1} = 0.2787-0.4486$ сут⁻¹) и в середине апреля, 101-е сут ($F1N = 0.0242$ мг N/л при $k_{0F1} = 0.3667-0.4019$ сут⁻¹), а в единицах P – на конец апреля, 113-е сут ($F1P = 0.0026$ мг P/л при $k_{0F1} = 0.2698-0.2949$ сут⁻¹), и в начале ноября, 305-е сут ($F1P = 0.0050$ мг P/л при $k_{0F1} = 0.4352-0.4635$ сут⁻¹).

В районе 3 в течение года формируется по два максимума F1 в единицах Si, N и P. Первый и второй максимумы по Si приходятся на середину января, 12-е сут ($F1Si = 0.0222$ мг Si/л при $k_{0F1} = 0.6317-0.6358$ сут⁻¹), и середину ноября, 322-е сут ($F1Si = 0.0907$ мг Si/л при $k_{0F1} = 0.6937-0.7870$ сут⁻¹). В единицах N максимумы F1 отмечаются в середине января, 12-е сут ($F1N = 0.0200$ мг N/л при $k_{0F1} = 0.6317-0.6358$ сут⁻¹), и в конце года ($F1N = 0.0102$ мг N/л при $k_{0F1} = 0.3839-0.3750$ сут⁻¹), а в единицах P – в конце февраля, 41-е сут ($F1N = 0.0021$ мг P/л при $k_{0F1} = 0.3115-0.3338$ сут⁻¹), и в конце ноября, 334-е сут ($F1N = 0.0146$ мг P/л при $k_{0F1} = 0.5910-0.7326$ сут⁻¹).

В районах 1–3 в динамике биомассы Z1 формируется по два максимума в единицах Si, N и P. В районе 1 первый максимум Z1 в единицах Si ($Z1Si = 0.1292$ мг Si/л при $k_{0Z1} = 0.1727-0.4948$ сут⁻¹) приходится на начало июня (156-е сут), в единицах N ($Z1N = 0.0409$ мг N/л при $k_{0Z1} = 0.2060-0.4391$ сут⁻¹) – на конец июня (173-е сут), а в единицах P ($Z1P = 0.0030$ мг P/л при $k_{0Z1} = 0.1671-0.2857$ сут⁻¹) – на конец июля (204-е сут). Второй максимум Z1 в этом районе в единицах Si составляет $Z1Si = 0.0601$ мг Si/л (при $k_{0Z1} = 0.1043-0.3380$ сут⁻¹) и формируется в начале ноября (305-е сут); его значения в единицах N и P составляют соответственно – $Z1N = 0.0151$ мг N/л и $Z1P = 0.0031$ мг P/л (при $k_{0Z1} = 0.1043-0.3013$ сут⁻¹) и формируются в начале–середине ноября (310–312-е сут).

В сравнении с районом 1 формирование первого максимума биомассы Z1 в районе 2 происходит раньше: в единицах Si это отмечается в середине мая, на 135-е сут, при достижении значений $Z1Si = 0.0819$ мг Si/л при $k_{0Z1} = 0.0163-0.0933$ сут⁻¹; в единицах N – в начале июня, на 152-е сут ($Z1N = 0.0202$ мг N/л при $k_{0Z1} = 0.0199-0.3534$ сут⁻¹), а формирование второго максимума биомассы Z1 происходит соответственно в начале ноября, на 305-е сут ($Z1Si = 0.0415$ мг Si/л при $k_{0Z1} = 0.0914-0.2849$ сут⁻¹), и в конце ноября, на 324-е сут ($Z1N = 0.0080$ мг N/л при $k_{0Z1} = 0.1174-0.2289$ сут⁻¹). В единицах P биомасса Z1P в районе 2 остается низкой без выраженных максимумов.

В районе 3 в единицах N и Si формируется по три максимума биомассы Z1, причем время формирования первого максимума по Si происходит в январе, на 20-е сут ($Z1Si = 0.0322$ мг Si/л при $k_{0Z1} = 0.0887-0.3008$ сут⁻¹), а по N – в начале февраля, на 32-е сут ($Z1N = 0.0042$ мг N/л при $k_{0Z1} = 0.0661-0.2019$ сут⁻¹). Формирование второго максимума биомассы Z1 происходит в конце апреля, на 120-е сут – $Z1Si = 0.1218$ мг Si/л и $Z1N = 0.0441$ мг N/л (при $k_{0Z1} = 0.1561-0.4682$ сут⁻¹), а третьего максимума биомассы Z1 – в начале декабря, на 341-е сут – $Z1Si = 0.1515$ мг Si/л и $Z1N = 0.0562$ мг N/л (при $k_{0Z1} = 0.349-0.4597$ сут⁻¹). В единицах P в районе 3 отмечается два максимума Z1: в начале июня, на 161-е сут ($Z1P = 0.0042$ мг P/л при $k_{0Z1} = 0.0773-0.3194$ сут⁻¹), и в начале декабря, на 346-е сут ($Z1P = 0.0176$ мг P/л при $k_{0Z1} = 0.2742-0.4280$ сут⁻¹).

Динамика годового хода биомасс фитопланктона (F2 и F3) и хищного зоопланктона (Z2) – в единицах N (рис. 14) и P (рис. 18). Несколько максимумов отмечается в годовой динамике биомассы F2, которые по своим значениям сопоставимы с максимумами биомасс F1. В районе 1 первый максимум F2 приходится на начало июня, на 162-е сут, и составляет (в единицах N)

F2N = 0.0198 мг N/л и (в единицах P) F2P = 0.0061 мг P/л при $k_{0F2} = 0.0715-0.1234$ сут⁻¹. Второй максимум в единицах N формируется к концу ноября, на 320-е сут (F2N = 0.0079 мг N/л при $k_{0F2} = 0.0204-0.0358$ сут⁻¹), а в единицах P – в начале ноября, на 312-е сут (F2P = 0.0048 мг P/л при $k_{0F2} = 0.0340-0.0525$ сут⁻¹). К концу года биомасса F2 в водах района 1 в единицах N и P снижается соответственно до 0.0061 мг N/л и до 0.0024 мг P/л.

В районе 2 первый максимум биомассы F2 в единицах N и P приходится на начало февраля, на 32-е сут (F2N = 0.0098 мг N/л и F2P = 0.0010 мг P/л) при $k_{0F2} = 0.0539-0.0695$ сут⁻¹, второй максимум отмечается на конец апреля, на 116–118-е сут (F2N = 0.0516 мг N/л и F2P = 0.0122 мг P/л) при $k_{0F2} = 0.0347-0.0501$ сут⁻¹. К концу года в водах района 2 биомасса F2 в единицах N снижается до 0.0007 мг N/л, в единицах P в середине ноября (320-е сут) отмечен третий максимум (F2P = 0.0022 мг P/л при $k_{0F2} = 0.0415-0.0641$ сут⁻¹); к концу года происходит снижение биомассы F2P до 0.0003 мг P/л.

В районе 3 в течение года в единицах N и P образуется по три максимума биомассы F2. Образование первого максимума биомассы F2 в единицах N происходит в январе на 20-е сут (F2N = 0.0551 мг N/л при $k_{0F2} = 0.0890-0.1218$ сут⁻¹), а в единицах P – в начале февраля на 32-е сут (F2P = 0.0065 мг P/л при $k_{0F2} = 0.0385-0.0422$ сут⁻¹). Второй максимум биомассы F2 в единицах N и P формируется соответственно в апреле – на 106-е сут (F2N = 0.0205 мг N/л при $k_{0F2} = 0.0228-0.0381$ сут⁻¹) и 118-е сут (F2P = 0.0064 мг P/л при $k_{0F2} = 0.0188-0.0381$ сут⁻¹). Третий максимум биомассы F2 в единицах N и P фиксируется в конце ноября (322-е сут) – F2N = 0.0279 мг N/л и F2P = 0.0095 мг P/л (при $k_{0F2} = 0.0963-0.1599$ сут⁻¹). К концу года в водах района 3 значение биомассы F2 в единицах N снижается до F2N = 0.0100 мг N/л, а в единицах P – до F2P = 0.0033 мг P/л.

Развитие биомасс F3 и Z2 начинается с июня и завершается к концу года. В водах районов 1 и 2 в единицах N и P значения биомассы F3 при достижении максимумов остаются невысокими: в районе 1 в конце июня, на 177-е сут – F3N = 0.0145 мг N/л (при $k_{0F3} = 0.0641-0.0955$ сут⁻¹) и в конце сентября, на 271-е сут – F3P = 0.0035 мг P/л (при $k_{0F3} = 0.0369-0.0489$ сут⁻¹); в районе 2 – в начале июня на 156-е сут – F3N = 0.015 мг N/л (при $k_{0F3} = 0.0733-0.0955$ сут⁻¹) и в конце июля, на 212-е сут – F3P = 0.0035 мг P/л (при $k_{0F3} = 0.0235-0.0319$ сут⁻¹). В районе 3 четкий максимум F3 формируется в единицах N и P к середине октября, на 284-е сут – F3N = 0.0372 мг N/л и F3P = 0.0131 мг P/л (при $k_{0F3} = 0.0491-0.0886$ сут⁻¹). К концу года в районах 1 и 3 значение биомассы F3N снижается до 0.0005–0.0006 мг N/л, а F3P – до 0.0002 мг P/л. В сравнении с районами 1 и 3 в водах района 2 значения биомасс F3 к концу года на порядок ниже.

В районе 1 первый максимум биомассы Z2 в единицах N приходится на начало июля, на 185-е сут (Z2N = 0.0503 мг N/л при $k_{0Z2} = 0.3513-0.5032$ сут⁻¹), а в единицах P – на конец июля, на 204-е сут (Z2P = 0.0065 мг P/л при $k_{0Z2} = 0.2342-0.3214$ сут⁻¹). Формирование второго максимума биомассы Z2 в районе 1 происходит в единицах N к началу октября, на 276-е сут (Z2N = 0.0069 мг N/л при $k_{0Z2} = 0.0846-0.2927$ сут⁻¹) и в единицах P – к середине октября, на 286-е сут (Z2P = 0.0025 мг P/л при $k_{0Z2} = 0.0337-0.2358$ сут⁻¹).

В районах 2 и 3 формирование первого максимума биомассы Z2 в единицах N отмечается к концу июня, на 161-е сут (оба максимума близки по значениям и составляют соответственно 0.0513 и 0.0549 мг N/л (при $k_{0Z2} = 0.2276-0.6123$ сут⁻¹)). В единицах P в районе 2 первый максимум Z2 отмечен к середине июля, на 192-е сут (Z2P = 0.0046 мг P/л при $k_{0Z2} = 0.1887-0.3024$ сут⁻¹), а в районе 3 он

формируется раньше – в конце июня, на 180-е сут ($Z2P = 0.0058$ мг Р/л при $k_{0Z2} = 0.1563-0.3532$ сут⁻¹). Второй максимум биомассы Z2 в районе 2 в единицах N и P выражен слабо, а в районе 3 его формирование происходит к концу октября, на 300-е сут – $Z2N = 0.0211$ мг N/л и $Z2P = 0.0087$ мг Р/л (при $k_{0Z2} = 0.1022-0.3989$ сут⁻¹). К концу года в районах 1–3 значение биомассы Z2N снижается соответственно до 0.0002, 0.0007 и 0.0053 мг N/л, а Z2P – до 0.00005, 0.0002 и 0.0020 мг Р/л.

Таким образом, в Татарском прол. в районах 1–3 в течение года в разные сроки формируются характерные сезонные максимумы биомасс микроорганизмов, прослеживаемые в единицах биогенных элементов (C, N, P и Si). Значения и сроки достижения максимумов по районам в течение года меняются. Развитие биомасс микроорганизмов по сезонам характеризуется значениями удельных скоростей их роста, изменения которых в течение года определяются условиями среды и присутствием в водной среде субстратов питания (органических и минеральных форм биогенных элементов). Весенний пик биомасс связан преимущественно с развитием прогрева водной среды, а осенний – с регенерацией и восстановлением запасов БВ в водной среде.

4.1.2. Анализ годового хода концентраций БВ, NF и O₂

Анализ изменения в течение года концентраций БВ важен для понимания биогидрохимических закономерностей их трансформации и особенностей пространственного распределения в изучаемых районах моря. Концентрации БВ можно использовать при комплексном анализе состояния морской среды или при выявлении особенностей сезонных изменений концентраций БВ, связанных с различиями в их поступлении и трансформации в разных районах моря. Концентрации БВ могут быть также полезными индикаторами отдельных водных масс при их идентификации, что для экосистемы Татарского прол. до настоящего времени еще не проводилось.

Оцененная с помощью расчетов на модели внутригодовая динамика БВ (органических и минеральных форм N и P, DISi, DOC) и растворенного O₂ для районов 1–3 Татарского прол. показана на рис. 15–16, 19, 21, 22. Отметим, что авторам не известны работы с детальным анализом сезонных изменений концентраций органических и минеральных фракций БВ в водах Татарского прол. Для отдельных месяцев имеются карты распределения фосфатов, силикатов, нитритов и O₂ для всей акватории Японского моря [Проект «Моря СССР»..., 2003; 2004] и для Татарского прол. [Пищальник, Бобков, 2000].

Анализ расчетных концентраций БВ показывает, что изменения в течение года концентраций ряда БВ имеют определенное сходство. Выделим эти подобные изменения концентраций БВ и кратко их охарактеризуем.

Динамика внутригодовых изменений концентраций NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻ (рис. 16). Подобие в динамике минеральных фракций N (NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻) объясняется тем, что указанные фракции N взаимосвязаны между собой и имеют сходные условия трансформации (NO₂⁻ образуется вследствие окислительного разложения NH₄⁺, а NO₃⁻ – конечный продукт окислительной трансформации минеральных фракций N). Минеральные N-содержащие вещества активно вовлекаются в оборот фитопланктоном. Среди них NO₃⁻ – доминирующая минеральная фракция N, определяющая картину внутригодовой изменчивости минеральных фракций N. До начала весны доля NO₃⁻ составляла 87.9–90.5 и 89.7–94.3 % от суммы N_{min} в районах 1 и 2 соответственно. Из-за различий в условиях транс-

формации в районах 1–3 динамика сезонной изменчивости концентраций минеральных фракций N в указанных районах отличается.

В районе 1 с начала года происходит увеличение концентрации NH_4 (до конца февраля) и NO_2 (до начала марта). Затем начинается снижение концентраций NH_4 и NO_2 – сначала плавное, а затем быстрое. С середины июня и до середины декабря концентрации NH_4 и NO_2 остаются низкими, а к концу года возрастают до 1–5 мкг N/л. В районе 1 содержание NO_3 в январе–апреле возрастает (до 0.2742 мг N/л), с середины апреля, когда начинается весеннее развитие фитопланктона, концентрация NO_3 быстро уменьшается; это снижение концентрации NO_3 идет до конца июня и в дальнейшем остается низким (1–6 мкг N/л) до конца года.

В районе 2, как и в районе 1, с начала года концентрации NH_4 и NO_2 испытывают небольшие колебания (увеличиваются или снижаются). С середины марта их содержание быстро снижается. Далее концентрация NO_2 с конца марта (а NH_4 – с конца июня) держится на низком уровне до конца года. Содержание NO_3 в январе–марте изменяется в небольшом диапазоне, а в конце марта с началом активного развития фитопланктона содержание NO_3 быстро снижается. Как и в районе 1, в районе 2 снижение концентрации NO_3 происходит до конца июня и остается низким (< 1 мкг N/л) до конца года.

В районе 3 содержание NH_4 , NO_2 и NO_3 начинает снижаться с начала года. Примерно с 20-х сут до конца года в водной среде поддерживается низкая концентрация NO_2 (< 1 мкг N/л), а концентрация NH_4 колеблется в диапазоне 10–50 мкг N/л. Концентрация NO_3 к началу апреля снижается до < 1 мкг N/л; в середине сентября концентрация NO_3 за счет процессов регенерации возрастает до 50 мкг N/л, а к концу года снижается до 20 мкг N/л.

Динамика внутригодовых изменений концентраций DON (рис. 15) и DOC (рис. 22). Начальное содержание DON в районах 1–3 принималось равным ~ 0.2 мг N/л, а DOC – 2.5 мг C/л. Для каждого района характерен свой тип сезонных изменений указанных органических фракций N и C со своими характерными колебаниями и амплитудами.

В районе 1 с начала года и до конца апреля – начала мая (120–123-е сут) содержание компонентов медленно увеличивается – DON с 0.1530 до 0.1958 мг N/л, а DOC – с 2.5 до 2.74 мг C/л. К концу мая–началу июня происходит снижение концентраций (DON до 0.0841 мг N/л к 144-м сут, а DOC – до 1.04 мг C/л к 153-м сут). В августе–сентябре за счет развития продукционных процессов содержание указанных органических фракций увеличивается – DON до 0.4101 мг N/л к 214-м сут, а DOC – до 3.64 мг C/л к 262-м сут. До конца года концентрация DON еще подрастает до 0.4795 мг N/л, а DOC снижается до 1.9950 мг C/л.

В районе 2 с начала января до начала апреля (94–99-е сут) происходит медленное увеличение концентраций веществ – DON с 0.1830 до 0.2603 мг N/л, а DOC – с 2.5 до 2.910 мг C/л. Далее концентрации веществ снижаются и к концу мая–началу июля составляют у DON 0.1437 мг N/л (183-е сут) и у DOC 1.09 мг C/л (140-е сут). К концу лета – началу осени концентрации веществ возрастают – у DON до 0.2500 мг N/л (245-е сут) и у DOC – до 1.77 мг C/л (255-е сут). За оставшееся до конца года время концентрация DON еще подрастает до 0.2668 мг N/л, а DOC снижается до 0.274 мг C/л.

В районе 3 с начала года до конца января–начала февраля происходят небольшие снижения концентраций веществ (DON с 0.1640 до 0.1276 мг N/л и DOC – с 2.50 до 1.80 мг C/л), а затем они увеличиваются, однако в разные периоды времени скорости возрастания концентраций веществ меняются. До середины года это происходит у DON и DOC со скоростями 0.00139 и 0.00786

мг/(л сут) соответственно. В июне скорости увеличения концентраций веществ возросли (у DON до 0.00412 мг N/(л сут) и у DOC до 0.052 мг C/(л сут)). К середине октября – началу ноября достигаются наибольшие концентрации органических компонентов (DON = 0.9574 мг N/л и DOC = 6.44 мг C/л). К концу года содержание DON снижается до 0.8559 мг N/л, а DOC – до 4 мг C/л.

Динамика внутригодовых изменений концентраций DIP (рис. 19) и DISi (рис. 21). В районах 1–3 начальные концентрации DIP и DISi приняты равными (соответственно 0.03 мг P/л и ~ 0.5 мг Si/л). Внутригодовая динамика концентраций DIP в каждом районе индивидуальна. В первую очередь это связано с большими масштабами акватории и выделенных районов. С начала года содержание компонентов во всех районах медленно возрастает. В районах 1 и 2 в течение года указанные компоненты меняются в сравнительно небольших интервалах, а в районе 3 их содержание в течение года постоянно возрастает.

В районе 1 содержание DIP меняется в течение года в диапазоне 0.0174–0.0484 мг P/л, а к концу снижается до 0.001–0.003 мг P/л. Результаты расчетов подтверждают вывод [Мокиевская, 1961], что материковый сток не имеет решающего значения в регулировании концентраций фосфатов в япономорской водной массе. С конца сентября содержание DISi снижается, а с середины ноября до конца года испытывает слабые колебания (в пределах 0.4176–0.4274 мг Si/л).

В районе 2 содержание DIP меняется в течение года в диапазоне 0.0139–0.0300 мг P/л, а к концу снижается до 0.001–0.003 мг P/л. Концентрация DISi плавно увеличивается и к началу июня составляет 0.8084 мг Si/л (152-е сут). Далее следует снижение до начала июля до 0.4441 мг Si/л (183-е сут). До конца августа содержание DISi плавно увеличивается до 0.4740 мг Si/л и затем снижается к концу года до 0.3082 мг Si/л.

В районе 3 с начала года концентрации DIP и DISi увеличиваются практически по экспоненте (в основном за счет метаболических выделений бактерий B1 и зоопланктона Z₁), и к концу года достигаются их значения 0.32 мг P/л и 2.3877 мг Si/л. В конце ноября имеется небольшое снижение концентраций DIP и DISi, что соответствует времени появления значимых концентраций регенерированных NO₃.

Динамика внутригодовых изменений концентраций ND (рис. 15) и PD (рис. 19). Исходное содержание детритных фракций принималось одинаковым для районов 1–3 (ND = 0.03 мг N/л и PD = 0.075 мг P/л). Внутригодовые изменения концентраций ND и PD очень схожи. Однако есть и отличия, проявляющиеся в сдвигах по срокам формирования промежуточных максимумов детрита (в единицах N и P) и в их значениях в районах 1–3. Это является следствием биогидрохимических отличий в трансформации БВ в районах 1–3.

В районе 1 содержание ND и PD с начала года плавно снижается к концу марта и апреля (ND до 9.5 мкг N/л к 111-м сут, а PD – до 1.6 мкг P/л к 140-м сут). Затем следует возрастание концентраций детрита к концу мая (ND до 0.2320 мг N/л к 152-м сут, а PD – до 0.0110 мг P/л к 144-м сут). В августе–сентябре за счет развития окислительных процессов содержание детрита снижается до 1–2 мкг/л. С середины осени до конца года следует возрастание концентраций детрита (ND до 0.0377 мг N/л, а PD – до 0.032 мг P/л).

В районе 2 до конца марта происходят небольшие флуктуации в концентрациях детрита. В течение мая происходит возрастание концентраций (ND до 0.2039 мг N/л к 140-м сут и PD – до 0.0164 мг P/л к 128-м сут) за счет активизации развития фитопланктона. В июле–августе концентрации детрита снижаются до 1–3 мкг/л. Низкие концентрации детрита сохраняются до конца

октября–начала ноября. К концу года происходит некоторое увеличение концентраций детрита (ND до 9.6 мкг N/л и PD – до 7.0 мкг P/л).

В районе 3 с начала года до начала–середины февраля происходит увеличение концентраций детрита (ND до 0.2850 мг N/л к 46-м сут и PD до 0.0182 мг P/л к 34-м сут). До конца сентября содержание детрита остается низким, затем происходит его увеличение. К концу года содержание ND составляет 0.3149 мг N/л, а PD – 0.0136 мг P/л.

Динамика внутригодовых изменений концентраций DOP (рис. 19). Особое внимание уделялось анализу изменений расчетных концентраций DOP, которые в водах дальневосточных морей служили косвенным индикатором биопродуктивности (их первые измеренные концентрации были значительно выше, чем в морях северо-атлантического бассейна) [Мокиевская, 1958]. По результатам расчетов в районах 1 и 2 выявлено практически подобное изменение концентраций DOP с некоторым его возрастанием с начала года к середине апреля–началу мая от 0.037 до 0.0435 мг P/л (на 111-е сут в районе 1) и до 0.0447 мг P/л (на 87-е сут в районе 2). Далее к концу июня–началу июля в этих районах содержание DOP резко уменьшается до 0.8–1.4 мкг P/л (на 180–184-е сут). К концу августа–середине сентября содержание DOP возрастает соответственно до 5.6 (район 2) и до 6.4 мкг P/л (район 1), затем до начала октября следует снижение концентрации DOP в указанных районах до 1.0–1.4 мкг P/л. К концу года в районе 1 содержание DOP увеличивается до 18.7 мкг P/л, а в районе 2 оно остается низким (2.3 мкг P/л).

В районе 3 содержание DOP с начала года начинает снижаться, и в апреле–мае оно остается низким (0.5–1.5 мкг P/л). К началу сентября следует возрастание концентрации DOP до 27.8 мкг P/л, к концу октября она снижается до 6.1 мкг P/л, затем в конце ноября увеличивается до 13.0 мкг P/л и к концу года снижается до 6.1 мкг P/л.

По данным [Мокиевская, 1958], в январе–феврале содержание суммарного органического P и DOP в поверхностном 75-м слое воды Японского моря составляло соответственно 49 и 31 мкг P/л. Эти оценки близки результатам моделирования: содержание указанных веществ в водах в северной части Татарского прол. (район 1) в этот период составляло соответственно 39–49 и 37–42 мкг P/л, в районе 2 – 41–50 и 37–43 и в районе 3 – 15–37 и 29–42 мкг P/л.

Динамика внутригодовых изменений концентраций O_2 (рис. 22). Содержание растворенного O_2 в зимний период остается высоким – 13.50–14.47, 11.00–14.18 и 11.00–13.48 мг O_2 /л соответственно в районах 1–3. С началом весны содержание O_2 в воде уменьшается, и его наименьшее за год содержание в районе 1 приходится на середину сентября (10.51 мг O_2 /л), а в районе 2 раньше – на начало июля (8.71 мг O_2 /л). В районе 3 весеннее снижение концентрации O_2 начинается с середины марта, но в начале июня за счет развития продукционных процессов содержание O_2 начинает увеличиваться, и к середине июня оно возрастает до 14.16 мг O_2 /л. Наименьшее содержание O_2 в воде района 3 приходится на начало сентября (10.26 мг O_2 /л). К концу года концентрация O_2 в водах районов 1–3 возрастает и составляет соответственно 13.69, 13.08 и 10.90 мг O_2 /л.

Динамика внутригодовых изменений концентраций нефтяных углеводородов NF и биомасс NF-окисляющих бактерий B4 (рис. 23). При выполнении расчетов предполагалось, что исходное содержание NF на начало года в воде на участках 1–3 одинаковое и равно значению ПДК на NF (0.050 мг/л). При заданных условиях поступления NF с начала года их содержание в воде в районах 1–3 увеличивалось со скоростью 1.509×10^{-3} , 1.506×10^{-3} и 1.174×10^{-3} мг NF/(л сут) соответственно. В районе 1 возрастание концентрации NF с начала года продолжается до 200-т

сут (на этот день здесь достигается концентрация NF, равная 0.322 мг NF/л, или 6.4 ПДК), в районе 2 – до 152-х сут (0.217 мг NF/л, или 4.3 ПДК) и в районе 3 – до 156-ти сут (0.223 мг NF/л, или 4.5 ПДК).

Возрастание в каждом районе концентраций NF сменяется далее их снижением к 240-м, 202-м и 189-м сут (до 0.111, 0.009 и 0.015 мг NF/л) соответственно в районах 1–3. В последующем в каждом районе происходит формирование второго пика концентрации NF – сравнительно невысоких в районах 1 (на 269-е сут) и 2 (на 262-е сут) (соответственно 0.142 и 0.101 мг NF/л, или 2.8 и 2.0 ПДК) и более значимого в районе 3 (на 293-е сут) (0.258 мг NF/л, или 5.2 ПДК). К середине–концу осени содержание NF снижается до минимума – 5–6 мкг NF/л, которое достигается в районах 1–3 соответственно к 308-м, 320-м и 346-м сут. К концу года содержание NF остается низким в районе 3 (5.4 мкг NF/л), в районе 2 оно возрастает до 16.2 мкг NF/л, а в районе 1 – до 0.101 мг NF/л (или до 2 ПДК).

Следует отметить, что расчетные концентрации NF характеризуют равномерное распределение NF в рассматриваемых объемах воды и не могут воспроизводить их экстремально высокие концентрации NF, а, следовательно, не могут полностью соответствовать имеющимся измеренным концентрациям NF в естественных условиях. Тем не менее порядок полученных расчетных данных по содержанию NF в водах Татарского прол. достаточно близок имеющимся измерениям. Проведенное сравнение с имеющимися в литературе оценками концентраций NF в водах дальневосточных морей за 1993–2005 гг. [Леонов и др., 2010] показывает, что в водах Татарского прол. в целом выше расчетные концентрации NF и шире диапазон их изменения в течение года, чем в водах зал. Анива (Охотское море) [Леонов, Пищальник, 2005]. Это связано не столько с перераспределением концентраций NF в водах Татарского прол., сколько с заданными условиями нагрузки по NF на районы 1–3.

Расчетная динамика биомасс бактерий В4 в течение года на разных участках Татарского прол. различается (рис. 23). Развитие В4 начинается раньше в районе 3 (на 118-е сут), а в районах 1 и 2 соответственно на 43 и 19 сут позже. В каждом районе в течение года отмечается по два максимума биомассы бактерий В4, однако время их достижения и значения биомасс различаются. Для характеристики условий развития биомасс В4 в районах 1–3 была оценена также динамика удельной скорости их роста $k_{\text{ов4}}$. Диапазоны значений $k_{\text{ов4}}$ 0–0.1, 0.1–0.2, 0.2–0.3 и $> 0.3 \text{ сут}^{-1}$ характеризуют соответственно низкую, среднюю, высокую и очень высокую окислительную активность микроорганизмов [Миронов и др., 1988].

Первый максимум биомассы бактерий В4 в районах 1–3 приходится соответственно на 219-е, 190-е и 173-и сут (0.0291, 0.0294 и 0.0517 мг С/л). Однако максимальные значения $k_{\text{ов4}}$ в указанных районах отмечаются раньше (на 140–144-е, 123–128-е и 137–139-е сут соответственно), в разных районах эти значения одинаковы и равны 0.252 сут^{-1} , что свидетельствует о высокой окислительной активности бактерий В4 в этот период в районах 1–3 [Миронов и др., 1988].

Затем следует снижение значений биомассы В4 в районах 1–3 – соответственно к 262-м, 245-м и 260-м сут (до 3.97×10^{-3} , 2.25×10^{-3} и 6.40×10^{-5} мг С/л). При снижении биомассы В4 значения $k_{\text{ов4}}$ становятся отрицательными и их минимумы приходятся на 257-е сут (-0.061 сут^{-1} в районе 1) и на 228-е сут (-0.082 и -0.144 сут^{-1} в районах 2 и 3 соответственно).

Второй максимум биомассы бактерий В4 в районе 1 формируется на 286-е сут (0.0436 мг С/л), в районе 2 – на 279-е сут (0.0272 мг С/л) и в районе 3 – на

312-е сут (0.0663 мг С/л). Повышенные значения k_{0B4} в районах 1–3 отмечаются на 10–14 сут раньше – соответственно на 276-е, 267-е и 296-е сут (0.158, 0.115 и 0.213 сут⁻¹). Следует отметить, что при формировании второго максимума бактерий В4 в районах 1–2 и 3 их окислительная активность характеризуется градициями «средняя» и «высокая» соответственно.

К концу года биомасса В4 в районах 1–3 снижается до 5.2×10^{-5} , 4.49×10^{-3} и 4.04×10^{-2} мг С/л, а значения k_{0B4} уменьшаются до –0.189, –0.097 и –0.003 сут⁻¹ соответственно. Таким образом, промежуточные значения максимумов биомасс бактерий В4 летом выше в районе 3, где отмечаются более высокие значения температуры воды, а значения их минимумов – в водах района 1, где летом температура воды ниже, чем в районах 2 и 3.

Динамика в течение года показателя k_{0B4} отражает влияние условий среды и обеспеченности бактерий В4 субстратом питания, а также в целом их активности. Показатель k_{0B4} имеет отрицательные значения:

- в январе–апреле, когда условия среды по температуре воды неблагоприятны для развития В4 (в районе 1 – с начала года до 115-х сут: k_{0B4} меняется от –0.197 до –0.007 (среднее –0.187) сут⁻¹; в районе 2 – с начала года до 96-х сут: k_{0B4} меняется от –0.196 до –0.009 (–0.168) сут⁻¹; в районе 3 – от 32-х до 75-х сут: k_{0B4} меняется от –0.087 до –0.004 (–0.047) сут⁻¹);

- в июне–августе, когда происходят основные колебания концентраций NF и биомасс В4 (в районе 1 – с 221-х до 260-х сут: k_{0B4} меняется от –0.061 до –0.010 (–0.049) сут⁻¹; в районе 2 – с 192-х до 240-х сут: k_{0B4} меняется от –0.082 до –0.001 (–0.051) сут⁻¹; в районе 3 – от 173-х до 260-х сут: k_{0B4} меняется от –0.144 до –0.005 (–0.076) сут⁻¹);

- в октябре–декабре, когда активность В4 снижается вследствие ухудшения условий среды (в районе 1 – с 288-х сут до конца года: k_{0B4} меняется от –0.188 до –0.010 (–0.088) сут⁻¹; в районе 2 – с 281-х сут до конца года: k_{0B4} меняется от –0.097 до –0.009 (–0.023) сут⁻¹; в районе 3 – с 312-х сут до конца года: k_{0B4} меняется от –0.024 до –0.003 (–0.009) сут⁻¹).

Полученные внутригодовые изменения расчетных значений концентраций БВ и NF свидетельствуют о том, что районы 1–3 существенно отличаются по условиям обеспечения морской среды субстратами (БВ и NF) и соответственно по развитию процессов их биотрансформации. Отметим, что запас БВ в водах Японского моря и, в частности, Татарского прол. значительно ниже, чем в других дальневосточных морях [Мокиевская, 1961]. Результаты моделирования подтверждают отмеченный факт, что незначительные концентрации БВ в поверхностном слое быстро истощаются в период цветения фитопланктона [Мокиевская, 1961]. Как показывают результаты расчетов, это истощение в районах 1–3 происходит для NH_4 со скоростью $(1.772–9.470) \times 10^{-4}$ мг N/(л сут), NO_2 – $(1.286–3.917) \times 10^{-4}$, NO_3 – $(0.905–5.179) \times 10^{-3}$ мг N/(л сут), DOP – $(1.000–4.036) \times 10^{-3}$ мг P/(л сут) (рис. 16). Результатами моделирования подтверждается установленный наблюдениями [Тищенко и др., 2003] факт обеднения поверхностных вод БВ летом: пониженные концентрации DIP и DISi (районы 1 и 2), а содержание NO_3 во второй части года в районах 1–3 находится на пределе обнаружения (аналитический ноль).

4.2. Построение графиков по расчетной информации из блока «СУММЫ»

Для параметров блока «СУММЫ» построены графики для:

– «Сумм форм N» – изменения расчетных суммарных концентраций N в биомассах бактерий (SumNbac), фито- (SumNfit) и зоопланктона (SumNzoo) (рис. 24); общей биомассе (SumNliv), взвеси (SumNpar) и в растворе (SumNdis) (рис. 25);

– «Сумм форм P» – изменения расчетных суммарных концентраций P в биомассах бактерий (SumPbac), фито- (SumPfit) и зоопланктона (SumPzoo) (рис. 26); общей биомассе (SumPliv), взвеси (SumPpar) и в растворе (SumPdis) (рис. 27);

– «Сумм форм Si» – изменения расчетных суммарных концентраций Si в биомассах (SumSiLiv), взвеси (SumSiPar) и в растворе (SumSiDis) (рис. 28);

– «Общие суммарные концентрации форм C, Si, N, P» – **изменения в течение года** расчетных суммарных концентраций элементов C, Si, N и P в водах исследуемых районов 1–3 Татарского прол. (рис. 29).

Суммарные концентрации форм биогенных элементов требуется знать при анализе внутригодовой изменчивости концентраций соединений биогенных элементов для лучшего понимания закономерностей динамики концентраций БВ и выявления роли сообщества микроорганизмов в биотрансформации веществ. Агрегированная форма концентраций БВ при представлении результатов моделирования в некоторых случаях более наглядна для объяснения особенностей динамики и преобразования БВ из одних форм в другие. Анализ изменения концентраций БВ в таких формах позволяет более точно выявить последовательность стадий биотрансформации БВ и закономерности динамики их агрегированных форм в течение годового цикла.

Рассмотрим изменения вычисленных концентраций суммарных значений форм N (рис. 24–25), P (рис. 26–27) и Si (рис. 28–29).

На рис. 24 показаны изменения в течение года в единицах N биомасс гетеротрофных бактерий $B1N$, суммарных биомасс фито- ($\Sigma (F1N + F2N + F3N)$) и зоопланктона ($\Sigma (Z1N + Z2N)$) **в водах районов 1–3. Изменения биомасс микроорганизмов в единицах N в водах районов 1–3 существенно отличаются друг от друга, особенно видна их индивидуальность в районе 3.**

С начала года биомасса бактерий $B1N$ в районах 1 и 2 увеличивается (в районе 2 это увеличение биомассы $B1N$ начинается раньше, чем в районе 1) и достигает своих промежуточных максимальных значений – соответственно 0.1504 мг N/л (на 137-е сут) и 0.0879 мг N/л (на 142-е сут). Затем до конца года она снижается и на 365-е сут составляет 0.0053 и 0.0006 мг N/л соответственно в районах 1 и 2. В водах района 3 биомасса $B1N$ с начала года активно растет и достигает максимума (0.069 мг N/л) уже на 36-е сут. Высокие ее значения сохраняются до 75-х сут, после чего биомасса снижается и к 152-м сут достигает промежуточного минимума 0.0242 мг N/л. Далее отмечен небольшой период возрастания биомассы (до 0.0355 мг N/л к 171-м сут), ее последующего снижения (до 0.0086 мг N/л к 233-м сут) и возрастания к концу года до 0.0975 мг N/л.

В изменении в течение года суммарной биомассы фитопланктона в единицах N, $\Sigma (F1N + F2N + F3N)$ **в районах 1 и 2 обнаруживается по два их промежуточных максимума**, а в водах района 3 обнаруживается четыре периода повышенных суммарных биомасс фитопланктона. Однако все эти максимумы формируются в разные периоды времени. В районе 1 оба эти максимума приходятся на середину года: первый (более высокий) максимум – на 130-е сут

(0.0467 мг N/л), а второй – на 166-е сут (0.0340 мг N/л). К концу года в районе 1 суммарная биомасса фитопланктона снижается до 0.0071 мг N/л.

В районе 2 первый максимум (невысокий) отмечаются уже на 32-е сут (0.0145 мг N/л), а второй – на 113-е сут (0.0667 мг N/л). В последующий период суммарная биомасса фитопланктона с небольшими колебаниями в основном снижается и к концу года составляет 0.0007 мг N/л (рис. 24).

В районе 3 первый максимум суммарной концентрации фитопланктона формируется уже на 17-е сут (0.0731 мг N/л), далее к 51-м сут она снижается до 0.0127 мг N/л, а затем увеличивается к 92-м сут (второй максимум – 0.0272 мг N/л). Затем к 152-м сут суммарная биомасса фитопланктона снижается (до 0.0127 мг N/л), а к 173-м сут увеличивается до 0.0184 мг N/л (третий максимум). На 216-е сут опять отмечено снижение суммарной биомассы фитопланктона (до 0.0129 мг N/л) и последующее увеличение к 284-м сут до 0.0558 мг N/л (**четвертый максимум**). Далее до конца года суммарная биомасса фитопланктона, испытывая небольшие флуктуации, снижается и на 365-е сут составляет 0.0208 мг N/л.

В изменениях в течение года суммарной биомассы зоопланктона в единицах N, $\Sigma (Z1N + Z2N)$ **в районах 1 и 2 обнаруживается по два, а в районе 3 – четыре максимума** суммарной их биомассы. В районе 1 первый и второй максимумы суммарной биомассы зоопланктона формируются соответственно на 180-е сут (0.0930 мг N/л) и 305-е сут (0.0194 мг N/л). В районе 2 такие повышенные значения суммарной биомассы зоопланктона приходятся на 156-е (острый максимум) (0.0716 мг N/л) и на 317-е сут (сглаженный максимум) (0.0110 мг N/л). **В районе 3 первый сглаженный максимум фиксируется уже на 32-е сут (0.0047 мг N/л), второй – на 116-е сут (0.0420 мг N/л), третий (наиболее высокий максимум) – на 161-е сут (0.0754 мг N/л) и четвертый – на 346-е сут (0.0638 мг N/л).**

На рис. 25 приведены изменения в течение года суммарных концентраций агрегированных форм N – **суммарной биомассы микроорганизмов (SumNliv)**, общего содержания взвешенного вещества – биомасс микроорганизмов и детрита (**SumNpar**) и **суммарного содержания растворенного вещества – минеральных и органических фракций (SumNdis)** в районах 1–3. Для каждого района изменения концентраций указанных форм N **меняются со своими характерными особенностями.**

В районе 1 в динамике суммарных биомасс микроорганизмов, SumNliv, отмечается три периода повышенных значений биомасс микроорганизмов: на 137-е сут (0.1924 мг N/л), 176-е сут (0.1691 мг N/л) и на 305-е сут (0.0354 мг N/л).

В районе 2 в течение года формируется три максимума значений суммарной биомассы микроорганизмов: первый (небольшой) максимум на 32-е сут (0.0153 мг N/л), **второй (промежуточный) – на 118-е сут (0.1355 мг N/л) и третий (наибольший) – на 156-е сут (0.1681 мг N/л).**

В районе 3 четко выражены четыре периода повышенных значений суммарного содержания биомасс микроорганизмов: первый максимум формируется уже на 22-е сут (0.1313 мг N/л), второй – на 108-е сут (0.1098 мг N/л), третий – на 161-е сут (0.1262 мг N/л). **Далее следует достаточно быстрое снижение значений SumNliv до промежуточного минимума – на 231-е сут (0.0314 мг N/л).**

Годовой ход показателя SumNliv в районах 1 и 2 завершается к концу года снижением, а в районе 3 – возрастанием значения суммарной биомассы микроорганизмов. Таким образом, к концу года значение SumNliv в районах 1 и 2 постепенно падает – соответственно до 0.0129 и 0.0053 мг N/л, а в районе 3 оно возрастает до 0.1734 мг N/л (рис. 25).

Следующий показатель на рис. 25 – внутригодовая динамика SumNpar (сумма взвешенных компонентов N – биомасс микроорганизмов и детрита) в райо-

нах 1–3. В течение года в каждом районе выделяются периоды повышенных концентраций этого показателя: в районе 1 период повышенных концентраций SumNpar – со 106-х по 245-е сут (с максимумом на 152-е сут – 0.3936 мг N/л), в районе 2 – с 75-х по 245-е сут (с максимумом на 143-и сут – 0.3366 мг N/л), а в районе 3 – с начала года до 230-х сут (с максимумом на 34-е сут – 0.3734 мг N/л).

В районах 1 и 2 к концу года суммарная концентрация взвешенного вещества снижается и составляет соответственно 0.0506 и 0.0150 мг N/л, тогда как в районе 3 к концу года она, напротив, существенно возрастает и достигает 0.4883 мг N/л, преимущественно за счет возрастания концентрации детритной составляющей взвешенного вещества.

Внутригодовая динамика суммарного содержания растворенных (органических и минеральных) компонентов N (SumNdis) в районах 1–3 (рис. 25) меняется так, что в каждом районе есть период пониженных концентраций этого параметра, когда растворенные фракции N за счет развития процессов трансформации с участием микроорганизмов переводятся во взвешенные компоненты N – соответственно в биомассы микроорганизмов и в детрит. Этот период пониженных концентраций SumNdis в районе 1 продолжается со 111-х до 250-е сут (с минимумом на 154-е сут – 0.1029 мг N/л), в районе 2 – с 80-х до 230-х сут (с минимумом на 183-и сут – 0.1441 мг N/л) и в районе 3 – с начала года до 156-х сут (с минимумом на 34-е сут – 0.1708 мг N/л).

В конце года концентрация SumNdis в районах 1 и 2 выходит практически на стационар и составляет соответственно 0.4852 и 0.2676 мг N/л. В районе 3 содержание показателя SumNdis выходит на максимум на 317-е сут (0.9729 мг N/л), а к концу года его концентрация снижается до 0.8850 мг N/л (рис. 25).

Изменения в водах районов 1–3 в течение года в единицах Р биомасс гетеротрофных бактерий В1Р, суммарных биомасс фито- (Σ (F1P + F2P + F3P)) и зоопланктона (Σ (Z1P + Z2P)) показаны на рис. 26. Как и в единицах N, в динамике в течение года в водах районов 1–3 биомасс микроорганизмов в единицах Р обнаруживаются колебания с формированием промежуточных двух максимумов биомасс, причем в каждом районе времена достижения этих максимумов отличаются друг от друга.

Биомасса бактерий В1Р в районах 1–3 с начала года начинает увеличиваться, этот рост биомассы бактерий быстрее осуществляется в районе 3, а медленнее он происходит в районе 1. Первый максимум В1Р достигается в водах районов 1–3 соответственно на 154-е сут (0.044 мг Р/л), на 152-е сут (0.030 г Р/л) и на 88-е сут (0.033 мг Р/л). Второй максимум бактерий В1Р в указанных районах 1–3 формируется соответственно к 320-м сут (0.045 мг Р/л), к 346-м сут (0.028 мг Р/л) и к 344-м сут (0.126 мг Р/л). После достижения максимумов в водах всех районов биомасса бактерий В1Р снижается, и к концу года она составляет соответственно 0.013, 0.024 и 0.107 мг Р/л.

Суммарная биомасса фитопланктона в единицах Р, Σ (F1P + F2P + F3P) изменяется в течение года с формированием в водах районов 1–3 трех выраженных промежуточных максимумов суммарной биомассы фитопланктона. Как и в единицах N, эти промежуточные максимумы формируются в разные периоды времени. В районе 1 первые два максимума суммарной биомассы фитопланктона отстоят недалеко по времени друг от друга: первый (низкий) на 137-е сут (0.005 мг Р/л), а второй (средний) – на 173-и сут (0.008 мг Р/л). Третий (высокий) максимум суммарной биомассы фитопланктона формируется в этом районе на 302-е сут (0.014 мг Р/л). В районе 2 первый максимум (невысокий) отмечается на 32-е сут (0.0014 мг Р/л), а второй (наибольший) – на 118-е сут (0.0147 мг Р/л), а третий (средний) – на 202-е сут (0.0041 мг Р/л). В районе

3 первые два максимума суммарной биомассы фитопланктона – средние по величинам, а третий – наибольший. Как и в районе 2, первый максимум суммарной биомассы фитопланктона в районе 3 формируется быстро – на 32-е сут (0.0083 мг Р/л), второй – на 111-е сут (0.0078 мг Р/л), а третий максимум – на 329-е сут (0.0263 мг Р/л). К концу года суммарная биомасса фитопланктона во всех районах снижается и на 365-е сут составляет 0.0040, 0.0039 и 0.0074 мг Р/л соответственно в водах районов 1–3.

В изменениях суммарной биомассы зоопланктона в единицах $P, \Sigma (Z1P + Z2P)$ в районах 1–3 формируется в течение года по два их промежуточных максимума. В районе 1 первый и второй максимумы суммарной биомассы зоопланктона формируются соответственно на 204-е сут (0.0094 мг Р/л) и на 300-е сут (0.0045 мг Р/л). В районе 2 повышенные значения суммарной биомассы зоопланктона приходятся на 192-е (0.0948 мг Р/л) и на 293-и сут (сглаженный максимум) (0.0020 мг Р/л). В районе 3 первый максимум четко формируется на 180-е сут (0.0092 мг Р/л), а второй – на 341-е сут (0.0213 мг Р/л). До конца года суммарная биомасса зоопланктона в районах 1–3 снижается, и к 365-м сут ее значение составляет соответственно 0.0001, 0.0006 и 0.0184 мг Р/л (рис. 26).

Изменения в течение года в водах районов 1–3 суммарных концентраций агрегированных форм Р – суммарной биомассы микроорганизмов (SumPliv), общего содержания взвешенного вещества – биомасс микроорганизмов и детрита (SumPpar) и суммарного содержания растворенного вещества – минеральных и органических фракций (SumPdis) приведены на рис. 27. Как и концентрации агрегированных форм N, суммарные значения концентраций форм Р в каждом районе в течение года меняются со своими характерными особенностями.

В районах 1 и 2 в динамике суммарных биомасс микроорганизмов, SumPliv, отмечается по два периода повышенных значений биомасс микроорганизмов. Первый максимум в районах 1 и 2 формируется соответственно – на 159-е сут (0.0511 мг Р/л) и на 152-е сут (0.0379 мг Р/л), а вторые максимумы – на 317-е сут (0.0626 мг Р/л) и на 334-е сут (0.0341 мг Р/л).

В течение года в районе 3 фиксируется три максимума значений суммарной биомассы микроорганизмов: первый (растянутый) максимум на 92-е сут (0.0399 мг Р/л), второй (меньший) – на 180-е сут (0.0364 мг Р/л) и третий (наибольший) – на 341-е сут (0.1625 мг Р/л). К концу года значения показателя SumPliv в районах 1–3 снижаются и на 365-е сут составляют соответственно 0.0168, 0.0289 и 0.1323 мг Р/л.

Изменения в течение года концентраций суммарного содержания взвешенных форм Р (SumPpar), который включает SumPliv и детритный Р (PD), фактически повторяют динамику SumPliv (рис. 27). Соответственно в течение года в районах 1 и 2 выделяются по два периода повышенных концентраций этого показателя: первый максимум в районах 1 и 2 отмечается соответственно на 156-е сут – 0.0563 мг Р/л и на 152-е сут (0.0470 мг Р/л), а вторые максимумы – соответственно на 322-е сут (0.0706 мг Р/л) и на 334-е сут (0.0367 мг Р/л), а в районе 3 соответствующие максимумы SumPpar последовательно приходятся на 85-е сут (0.0441 мг Р/л), на 179-е сут (0.0386 мг Р/л) и на 341-е сут (0.1798 мг Р/л). К концу года концентрация SumPpar в районах 1–3 снижается соответственно до 0.0503, 0.0359 и 0.1459 мг Р/л.

Суммарное содержание растворенных (органических и минеральных) компонентов Р (SumPdis) в районах 1–3 изменяется с формированием в каждом районе периодов пониженных концентраций параметра, и в эти периоды растворенные фракции Р, как и SumNdis, за счет развития процессов трансформации с участием микроорганизмов переводятся во взвешенные компоненты Р –

соответственно в биомассы микроорганизмов и в детрит. В районе 1 первый такой период пониженных концентраций SumPdis продолжается со 106-х до 260-х сут (с минимумом его содержания на 156-е сут – 0.0210 мг P/л), а второй период – с 260-х до конца года с минимумом на 322-е сут (0.0080 мг P/л). В районе 2 такой период интенсивного развития биомассы микроорганизмов начинается с 80-х сут и продолжается фактически до конца года с небольшим возрастанием концентрации SumPdis на 243-и сут (до 0.0245 мг P/л) и последующим снижением к концу года. В районе 3 содержание SumPdis снижается с начала года, его минимум фиксируется на 89-е сут (0.0344 мг P/л), в последующее время происходит в водах района 3 увеличение концентрации SumPdis до конца года. На 365-е сут концентрация SumNdis в районах 1–3 составляет соответственно 0.0233, 0.0034 и 0.3261 мг P/л (рис. 27).

На рис. 28 показаны изменения в течение года в районах 1–3 суммарных концентраций агрегированных форм Si – **суммарной биомассы микроорганизмов (SumSiliv)**, общего содержания взвешенного вещества – биомасс микроорганизмов и детрита (**SumSipar**) и **суммарного содержания растворенных веществ – минеральных и органических фракций (SumSidis)**. Как и для подобных агрегированных фракций N и P, в каждом районе внутригодовые изменения концентраций указанных форм Si **отличаются характерными особенностями**.

В районе 1 и 2 в динамике суммарных биомасс микроорганизмов, SumSiliv, отмечается по два периода повышенных значений биомасс микроорганизмов: в районе 1 – соответственно на 144-е сут (0.2940 мг Si/л) и на 310-е сут (0.2230 мг Si/л), а в районе 2 – соответственно на 120-е сут (0.2577 мг Si/л) и на 305-е сут (0.1503 мг Si/л).

В районе 3, как и SumPliv, выделяется три периода повышенных значений суммарных биомасс в единицах Si: первый (средний по значению) такой максимум приходится на 17-е сут (0.2389 мг Si/л), второй максимум (наименьший по значению) – на 108-е сут (0.1870 мг Si/л), третий (наибольший) максимум – на 341-е сут (0.4444 мг Si/л).

В каждом районе годовой ход показателя SumSiliv завершается к концу года снижением его значений. Таким образом, к концу года значение SumSiliv в районах 1–3 постепенно падает – соответственно до 0.0254, 0.0772 и 0.3264 мг Si/л.

На рис. 28 представлена также внутригодовая суммарная динамика взвешенных компонентов Si (SumSipar), включающая биомассы микроорганизмов и детрит, в районах 1–3. В каждом районе выделяются периоды повышенных концентраций этого показателя, причем первые максимумы в таких периодах сглаженные и только последний максимум выражен наиболее четко. В районе 1 первое в течение года повышенное значение SumSipar приходится на 147-е сут (0.3555 мг Si/л), а второе – на 320-е сут (0.7525 мг Si/л). В районе 2 первый с начала года максимум значений SumSipar приходится на 108-е сут (0.3238 мг Si/л), затем следует продолжительный период снижения значений SumSipar с минимумом на 231-е сут (0.0834 мг Si/л), после чего значения SumSipar до конца года постепенно увеличиваются. К концу года (то есть на 365-е сут) суммарная концентрация взвешенного вещества в районах 1 и 3 снижается и составляет соответственно 0.5882 и 1.6588 мг Si/л, тогда как в районе 2 она до конца года постепенно с 312-х сут возрастает до 0.4334 мг Si/л.

Форма кривых изменений в течение года суммарного содержания растворенных (органических и минеральных) компонентов Si (SumSidis) в районах 1–3 в целом подобна таковым для соединений N и P (SumNdis и SumPdis): в каждом районе есть периоды пониженных и повышенных концентраций это-

го параметра, свидетельствующие об активизации развития микроорганизмов и процессов биотрансформации БВ в водной среде. Первый период понижения концентраций SumNdis в районе 1 продолжается со 110-х до 137-х сут (со снижением за этот период концентрации SumSidis с 0.7437 до 0.5619 мг Si/л), далее в районе 1 следует период возрастания концентрации до 262-х сут (до 0.8642 мг Si/л) и его дальнейшего снижения к 334-м сут (до 0.4806 мг Si/л).

В районе 2 первый период снижения концентрации SumSidis отмечается с 80-х до 106-х сут (со 0.7291 до 0.6302 мг Si/л), **затем следует возрастание концентрации SumSidis до 152-х сут (до 0.8113 мг Si/л).** Далее до 182-х сут в этом районе следует период относительно быстрого снижения концентрации SumSidis до 0.4469 мг Si/л и последующих их изменений с общей тенденцией более медленного снижения до конца года. В районе 3 с начала года содержание SumSidis снижается до 17-х сут (от исходного значения 0.6 до 0.4957 мг Si/л). В последующий период происходит возрастание концентрации SumSidis до конца года с разными скоростями в отдельные периоды. В конце года концентрация SumNdis в районах 1–3 соответственно составляет 0.5194, 0.3507 и 2.7045 мг Si/л (рис. 28).

В целом расчетная внутригодовая динамика значений агрегированных концентраций биогенных элементов – суммарных биомасс микроорганизмов (SumNliv, SumPliv и SumSiliv), суммарных концентраций взвешенных веществ (SumNpar, SumPpar и SumSipar), **а также суммарных концентраций растворенных веществ (SumNdis, SumPdis и SumSidis)** обнаруживает по внешнему виду определенное сходство. Однако имеются и отличия, которые проявляются в амплитудах колебаний концентраций компонентов для определенных периодов со сменой экстремальных их значений.

Изменение в течение года в воде в районах 1–3 суммарных концентраций соединений C (TotCwat), Si (TotSiwat), N (TotNwat) и P (TotPwat) показано на рис. 35. При отсутствии поступления форм биогенных элементов из внешних источников суммарное их содержание в водной среде должно оставаться постоянным. Поскольку их общее содержание в районах изменяется, то можно говорить о том, что в течение года периоды поступления БВ из внешних источников сменяются периодами их снижения, что обусловлено их определенными потерями (в частности, за счет выноса водными массами в соседние районы и седиментации взвешенных форм биогенных элементов). Рассмотрим особенности динамики указанных агрегированных форм C, Si, N и P в районах 1–3.

В районах 1–3 в изменениях агрегированных концентраций C имеются свои специфические черты с отличающимися особенностями. В районах 1 и 2 с начала года выделяется период сравнительно медленного возрастания концентраций TotCwat (за счет поступлений из внешних источников): этот период продолжается в этих районах соответственно до 123-х и 96-х сут, а содержание TotCwat от начального 2.502 мг C/л увеличивается в них до 2.760 и 2.943 мг C/л соответственно. Второй период в районах 1 и 2 – снижение (за счет активной трансформации БВ) концентраций TotCwat соответственно на 156-е и на 183-и сут (до 1.380 и 1.160 мг C/л). Третий период – возрастание (за счет развития процессов продуцирования и регенерации веществ) концентраций TotCwat в районе 1 до 3.837 мг C/л (264-е сут) и в районе 2 до 1.887 мг C/л (на 245-е сут). Заключительный (четвертый) период связан со снижением (при доминировании выноса и седиментации веществ) концентраций TotCwat в районах 1 и 2 к концу года (на 365-е сут) до 2.101 и 0.396 мг C/л соответственно.

В районе 3 изменения концентрации TotCwat в течение года развиваются иначе: с начала года она снижается от начальных 2.502 до 2.068 мг C/л (к 39-м сут),

а затем следует возрастание концентрации TotCwat с разными скоростями – в период 39-е – 152-е сут со скоростью $0.007 \text{ мг C/(л сут)}$, в период 152-е – 183-и сут со скоростью $0.083 \text{ мг C/(л сут)}$ и в период 183-и – 288-е сут со скоростью $0.012 \text{ мг C/(л сут)}$. После 288-х сут концентрация TotCwat в водах района 3 только снижается, и на конец года (или на 365-е сут) она составляет в этом районе 14.325 мг C/л (рис. 29).

В изменениях в течение года концентрации TotSiwat в районах 1–3 есть существенные отличия (рис. 29). В каждом районе можно выделить несколько периодов с разными скоростями изменения концентраций TotSiwat. Например, в районе 1 в первый период, с начала года до 113-х сут, она снижается с невысокой скоростью ($8.210 \times 10^{-4} \text{ мг Si/(л сут)}$), затем в период 113-е – 209-е сут содержание TotSiwat увеличивается со скоростью $2.403 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$. В следующий период (209-е – 260-е сут) содержание TotSiwat практически не меняется и составляет 1.046 мг Si/л , а с 260-х до 317-х сут концентрация TotSiwat увеличивается со скоростью $3.355 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$. Далее к концу года происходит снижение концентрации TotSiwat со скоростью $2.735 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$, и к концу года (на 365-е сут) она снижается до 1.108 мг Si/л .

В районе 2 с начала года содержание TotSiwat до 84-х сут практически не меняется и колеблется в небольшом диапазоне $0.907\text{--}0.910 \text{ мг Si/л}$. Затем в период 84-е – 152-е сут концентрация TotSiwat увеличивается со скоростью $1.821 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$, далее в период 152-е – 183-и сут содержание TotSiwat снижается со скоростью $1.562 \times 10^{-2} \text{ мг Si/(л сут)}$, и затем к концу года отмечается тенденция постепенного увеличения концентрации TotSiwat со скоростью $1.316 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$. На 365-е сут содержание TotSiwat в воде района 2 составляет 0.784 мг Si/л .

В изменении концентрации TotSiwat в течение года в районе 3 можно условно выделить четыре периода: в первый период (с начала года до 152-х сут) содержание TotSiwat увеличивается со скоростью $1.475 \times 10^{-3} \text{ мг Si/(л сут)}$, во второй период (152-е – 182-е сут) скорость возрастания концентраций TotSiwat составляет $1.744 \times 10^{-2} \text{ мг Si/(л сут)}$, в третий период (182-е – 212-е сут) содержание TotSiwat практически не изменяется и колеблется в небольшом диапазоне – в пределах $1.578\text{--}1.588 \text{ мг Si/л}$. Наконец, в четвертый период (с 212-х сут до конца года) имеется четкая тенденция увеличения концентрации TotSiwat со скоростью $1.521 \times 10^{-2} \text{ мг Si/(л сут)}$, и на 365-е сут концентрация TotSiwat возрастает в воде района 3 до 4.363 мг Si/л (рис. 29).

Концентрации TotNwat, как и концентрации TotSiwat, в районах 1–3 в течение года изменяются с характерными отличиями: в каждом районе выделяются несколько периодов с разными скоростями изменения концентраций TotNwat. В районе 1 в первый период (с начала года до 142-х сут) содержание TotNwat увеличивается со скоростью $6.654 \times 10^{-4} \text{ мг N/(л сут)}$, в период 142-е – 189-е сут оно снижается со скоростью $5.156 \times 10^{-4} \text{ мг N/(л сут)}$. В следующий (третий) период (189-е – 365-е сут) содержание TotNwat к концу года возрастало со скоростью $3.348 \times 10^{-4} \text{ мг N/(л сут)}$. Содержание TotNwat к концу года (на 365-е сут) постепенно возрастает до 0.536 мг N/л .

В районе 2 содержание TotNwat с начала года до 116-х сут увеличивалось от 0.437 мг N/л до 0.520 мг N/л со скоростью $7.244 \times 10^{-4} \text{ мг N/л}$. Во второй период (116-е – 137-е сут) концентрация TotNwat практически не менялась и составляла 0.520 мг N/л . Далее в третий период (137-е – 185-е сут) концентрация TotNwat снижается до 0.264 мг N/л со скоростью $5.327 \times 10^{-3} \text{ мг N/(л сут)}$, а затем содержание TotNwat до конца года медленно увеличивается до 0.283 мг N/л со скоростью $1.011 \times 10^{-4} \text{ мг N/(л сут)}$.

В течение года в районе 3 в изменении концентрации TotNwat можно условно выделить пять периодов: в первый период (с начала года до 34-х сут) концентрация TotNwat возрастает до 0.544 мг N/л со скоростью 5.169×10^{-3} мг N/(л сут); во второй период (34-е – 152-е сут) концентрация TotNwat снижается до 0.521 мг N/л с малой скоростью (1.981×10^{-4} мг N/(л сут)). В следующий (третий) период (152-е – 183-и сут) содержание TotNwat увеличивается до 0.779 мг N/л со скоростью 7.526×10^{-3} мг N/(л сут). В четвертый период (183-и – 212-е сут) содержание TotNwat менялось в небольшом диапазоне в пределах 0.779–0.783 мг N/л. Далее до конца года происходит возрастание концентрации TotNwat до 1.373 мг N/л со скоростью 3.844×10^{-3} мг N/(л сут).

Свои характерные отличия можно выявить и в изменениях в течение года концентраций TotPwat в районах 1–3 (рис. 29). В районе 1 содержание в воде TotPwat в течение года существенно не изменяется, отмечаются небольшие колебания в пределах 0.074–0.075 мг P/л. Это служит свидетельством сбалансированности между процессами поступления форм P из внешних источников и их потерь на седиментацию и вынос в соседние регионы водными массами.

В районе 2 содержание TotPwat с начала года до 152-х сут практически не меняется и остается, составляя 0.075 мг P/л. Затем в период от 152-х до 183-х сут происходит снижение концентрации TotPwat до 0.038 мг P/л со скоростью 1.180×10^{-3} мг P/(л сут). В третий период (183-и – 365-е сут) содержание в воде TotPwat до конца года немного возрастает (до 0.039 мг P/л) с очень малой скоростью (6.689×10^{-6} мг P/(л сут)).

В районе 3 в изменении в течение года концентрации TotPwat можно условно выделить пять периодов. В первый период (с начала года до 32-х сут) концентрация TotPwat практически не меняется и составляет 0.075 мг P/л. Во второй период (32–152-е сут) концентрация TotPwat также остается практически неизменной, испытывая небольшие колебания в пределах 0.078–0.079 мг P/л. В следующий (третий) период (152-е – 183-и сут) концентрация TotPwat увеличивается до 0.116 мг P/л со скоростью 1.196×10^{-3} мг P/(л сут). В четвертый период (183-и–212-е сут) содержание TotNwat оставалось неизменным и составляло 0.116 мг P/л. Затем к концу года концентрация TotPwat увеличивается до 0.472 мг P/л со скоростью 2.318×10^{-3} мг P/(л сут).

Таким образом, обнаружены разные тенденции в годовом ходе суммарных концентраций соединений биогенных элементов (TotCwat, TotSiwat, TotNwat и TotPwat) в водах районов 1–3 (рис. 29). Это связано с отличиями в сбалансированности процессов поступления разных БВ из внешних источников, их аккумуляцией в водах районов и потерями (за счет развития процессов седиментации взвешенных форм биогенных элементов и выноса БВ в соседние регионы водными массами). В годовой динамике суммарных концентраций соединений биогенных элементов выделяются в разных районах периоды активного их изменения (со снижением или увеличением концентраций веществ), а также периоды, когда их содержание практически не изменяется или колеблется в небольших пределах. Наиболее высокие амплитуды изменений в течение года характерны для параметра TotCwat. Можно выделить общие тенденции в изменениях в течение года суммарных концентраций соединений биогенных элементов: к концу года после испытываемых колебаний их содержание в районе 1 практически восстанавливается, в районе 2 оно, как правило, становится меньше, а в районе 3 – увеличивается. Тенденция увеличения содержания суммарных концентраций биогенных элементов в водах района 3 связывается с доминирующим в течение года выносом БВ из соседних районов и их выраженной аккумуляцией к концу года.

4.3. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПРОДУКЦИЯ»

Для параметров блока «ПРОДУКЦИЯ» представлены графики, характеризующие изменения в течение года удельной скорости продукции биомасс гидробионтов в единицах N (PrB1N, PrF1N, PrZ1N (рис. 30); PrF2N, PrF3N, PrZ1N, PrZ2N (рис. 31)).

Значения удельной продукции гидробионтов k_0 – показатель роста их биомасс, они вычисляются на каждом шаге по времени при воспроизведении динамики развития биомасс гидробионтов. При вычислении значений k_0 учитываются мгновенные значения скоростей потребления БВ, выделения продуктов обмена, отмирания биомасс и их выедания организмами более высоких трофических уровней. При расчете значений указанных характеристик развития гидробионтов учитываются воздействующие на них факторы среды обитания – температура, прозрачность воды, содержание в водной среде питательных БВ, условия переноса химических и биологических компонентов водными массами. Для фито-, зоопланктона и высшей водной растительности (макрофиты) дополнительно учитывается фактор освещенности водной поверхности, который в течение суток меняется (суточный период подразделен на светлое и темное время суток, продолжительность которых меняется по сезонам года).

Влияние освещенности на фитопланктон и макрофиты состоит в регуляции процессов трансформации вещества: в светлое время суток у этих гидробионтов работает канал трансформации на потребление БВ и продукцию биомассы (в том числе продукцию органического вещества и O_2); в темное время суток – канал трансформации на продукцию вещества у этих гидробионтов отключается. Влияние освещенности на активность зоопланктона связано с регулированием его перемещения по вертикали (в ночные часы в поисках источников питания зоопланктон мигрирует в верхние слои, а в светлое время суток – в нижние слои).

Показатель k_0 не зависит от химического элемента, в котором выражена биомасса рассматриваемого микроорганизма: при его вычислении используются значения соотношений биомасса/субстрат по всем элементам, в которых выражены биомасса и потребляемые ею субстраты (в значениях этого же элемента). Это означает, что недостаток субстрата на единицу биомассы по одному элементу будет в целом лимитировать развитие биомассы независимо от того, в каких единицах вычисляется биомасса рассматриваемых микроорганизмов. Итог такого лимитирования – сначала снижение, затем полное прекращение роста биомассы и ее последующее снижение из-за неблагоприятных условий среды по субстрату питания (отрицательное влияние на развитие биомассы недостатка субстрата на единицу биомассы). Поэтому при характеристике развития биомассы следует охарактеризовать значения показателя k_0 для одного элемента выражения биомассы, и этого достаточно для полного представления о влиянии всего набора условий среды на развитие биомассы для конкретного представителя биологического сообщества.

Следует напомнить, что расчетные значения удельной скорости роста биомассы, k_0 , в пределах 0–0.1, 0.1–0.2, 0.2–0.3 и > 0.3 сут⁻¹ характеризуют соответственно низкую, среднюю, высокую и очень высокую окислительную активность рассматриваемой группы микроорганизмов [Миронов и др., 1988]. Отрицательные значения k_0 означают, что условия для развития гидробионтов неблагоприятны, увеличения биомассы не происходит и, напротив, идет ее снижение.

Ранее при характеристике развития биомасс (B_1 , F_1 – F_3 , Z_1 и Z_2) в районах 1–3 мы ссылались на графики (рис. 30 и 31), на которых показаны изменения в течение года значений показателя k_0 , и отмечали диапазон его изменения в зависимости от рассматриваемого периода времени и меняющихся в этот период условий среды обитания. В этом разделе мы дополнительно представляем табл. 4.3.1, в которой показаны для разных месяцев диапазоны изменений значений удельных скоростей роста биомассы, k_0 , оцененных для представителей биологического сообщества в районах 1–3 Татарского прол.

Значения удельной скорости продукции бактерий B_1 , k_{0B_1} , в районе 1 с начала года отрицательны (-0.067 сут^{-1}). До середины апреля значения k_{0B_1} сохраняются в отрицательном диапазоне. Однако уже к концу апреля (120-е сут) – началу мая (123-и сут) достигается максимум k_{0B_1} (0.622 – 0.592 сут^{-1}). С середины мая до середины июля значения k_{0B_1} остаются низкими и меняются в пределах отрицательного диапазона (-0.035 ... -0.002 сут^{-1}). В августе–ноябре значения k_{0B_1} колеблются в пределах 0.005 – 0.061 сут^{-1} , причем максимальное значение отмечается на 305-е сут. К концу года значения k_{0B_1} снижаются до -0.039 сут^{-1} .

В районе 2 в начале года эти значения положительные, но невелики по значению (0.023 сут^{-1}), в течение первых полутора месяцев они снижаются до -0.038 сут^{-1} (46-е сут), затем возрастают и в марте достигают 0.167 сут^{-1} . В апреле значения k_{0B_1} меняются в пределах 0.003 – 0.329 сут^{-1} (наибольшее значение отмечается на 99-е сут). С мая по август значения k_{0B_1} меняются от -0.010 до 0.024 сут^{-1} , а с сентября по декабрь значения k_{0B_1} колеблются в положительном диапазоне в пределах 0.021 до 0.049 сут^{-1} . Наибольшее значение приходится на 298-е сут, а к концу года значение k_{0B_1} снижается до 0.004 сут^{-1} .

В районе 3 максимальные значения k_{0B_1} фиксируются в начале года (0.568 сут^{-1}), в феврале–марте значение k_{0B_1} меняется в пределах -0.015 ... 0.010 сут^{-1} , а в апреле значения k_{0B_1} не выходят из отрицательного диапазона (-0.015 ... -0.006 сут^{-1}). С мая по август пределы колебаний значений k_{0B_1} составляют -0.015 ... 0.044 сут^{-1} , а в сентябре–декабре они не выходят за пределы положительного диапазона (0.041 – 0.061 сут^{-1}).

Наибольшие значения k_{0B_1} , как и в районах 1 и 2, достигаются к началу–середина осени (307-е сут), а к концу года значения k_{0B_1} снижаются до 0.006 сут^{-1} .

Таким образом, тенденции колебаний значений показателя k_{0B_1} в районах 1 и 2 сходны в начале года, в середине года они во всех районах примерно одинаковы, а в конце года сходные тенденции в изменениях значений k_{0B_1} проявляются для районов 2 и 3.

Для развития биомассы фитопланктона F_1 можно условно выделить несколько периодов: 1) январь–март; 2) апрель–июнь; 3) июль–август; 4) сентябрь–ноябрь и 5) декабрь. В водах района 1 в изменении в течение года удельной скорости роста биомассы диатомовых водорослей F_1 , k_{0F_1} , в период 1 диапазон изменения значений k_{0F_1} был в пределах -0.089 ... 0.084 сут^{-1} ; период 2 характеризовался наибольшими изменениями значений k_{0F_1} – от -0.455 до 1.020 сут^{-1} ; в период 3 значения k_{0F_1} были характерными для летнего периода и менялись в пределах -0.033 ... 0.241 сут^{-1} ; в период 4 значения k_{0F_1} характеризовали осенний максимум развития биомассы F_1 в пределах от -0.026 до 0.648 сут^{-1} ; а для периода 5 значения k_{0F_1} соответствовали переходному осенне-зимнему сезону при колебаниях k_{0F_1} от -0.046 до 0.332 сут^{-1} .

В районе 2 диапазоны изменения k_{0F_1} для F_1 в указанные периоды 1–5 составляют: 1) от -0.155 до 0.575 сут^{-1} ; 2) от -0.326 до 0.401 сут^{-1} ; 3) от -0.050 до 0.253 сут^{-1} ; 4) от -0.023 до 0.509 сут^{-1} и 5) от -0.019 до -0.457 сут^{-1} .

**Пределы изменения расчетных значений удельных скоростей роста
биомасс гидробионтов, k_0 сут⁻¹, в районах 1–3 Татарского прол.**

Био- масса	Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
B_{1N}	1	$\frac{-0.067...}{-0.050}$	$\frac{-0.050...}{-0.046}$	$\frac{-0.046...}{-0.031}$	$\frac{-0.028...}{0.622}$	$\frac{-0.018...}{0.592}$	$\frac{-0.035...}{-0.012}$	$\frac{-0.006...}{0.015}$	$\frac{0.005...}{0.019}$	$\frac{0.010...}{0.037}$	$\frac{0.026...}{0.061}$	$\frac{0.012...}{0.056}$	$\frac{-0.039...}{0.008}$
	2	$\frac{-0.021...}{0.023}$	$\frac{-0.038...}{-0.027}$	$\frac{-0.024...}{0.167}$	$\frac{0.003...}{0.329}$	$\frac{-0.007...}{0.022}$	$\frac{-0.010...}{0.003}$	$\frac{-0.004...}{0.009}$	$\frac{-0.001...}{0.024}$	$\frac{0.021...}{0.027}$	$\frac{0.026...}{0.049}$	$\frac{0.024...}{0.043}$	$\frac{0.004...}{0.035}$
	3	$\frac{0.006...}{0.568}$	$\frac{-0.015...}{0.010}$	$\frac{-0.012...}{0.009}$	$\frac{-0.015...}{-0.006}$	$\frac{-0.010...}{0.006}$	$\frac{-0.015...}{0.004}$	$\frac{-0.003...}{0.005}$	$\frac{-0.003...}{0.044}$	$\frac{0.049...}{0.057}$	$\frac{0.041...}{0.051}$	$\frac{0.048...}{0.060}$	$\frac{0.005...}{0.061}$
F_{1N}	1	$\frac{-0.089...}{0.005}$	$\frac{-0.059...}{-0.018}$	$\frac{-0.047...}{0.084}$	$\frac{-0.192...}{1.020}$	$\frac{-0.455...}{0.446}$	$\frac{-0.296...}{0.129}$	$\frac{-0.013...}{0.193}$	$\frac{-0.033...}{0.241}$	$\frac{-0.026...}{0.528}$	$\frac{-0.006...}{0.648}$	$\frac{-0.014...}{0.511}$	$\frac{-0.046...}{0.332}$
	2	$\frac{-0.144...}{0.505}$	$\frac{-0.155...}{0.134}$	$\frac{-0.128...}{0.575}$	$\frac{-0.326...}{0.401}$	$\frac{-0.249...}{0.147}$	$\frac{-0.085...}{0.161}$	$\frac{-0.050...}{0.175}$	$\frac{-0.029...}{0.253}$	$\frac{-0.023...}{0.408}$	$\frac{-0.016...}{0.509}$	$\frac{-0.018...}{0.409}$	$\frac{-0.019...}{-0.457}$
	3	$\frac{-0.229...}{1.357}$	$\frac{-0.198...}{0.334}$	$\frac{-0.187...}{0.308}$	$\frac{-0.157...}{0.187}$	$\frac{-0.121...}{0.195}$	$\frac{-0.074...}{0.129}$	$\frac{-0.040...}{0.190}$	$\frac{-0.031...}{0.196}$	$\frac{-0.027...}{0.439}$	$\frac{-0.011...}{0.694}$	$\frac{0.006...}{0.801}$	$\frac{-0.119...}{0.641}$
F_{2N}	1	$\frac{0.016...}{0.024}$	$\frac{0.009...}{0.014}$	$\frac{0.010...}{0.055}$	$\frac{0.064...}{0.429}$	$\frac{0.005...}{0.550}$	$\frac{-0.017...}{0.185}$	$\frac{-0.014...}{0.070}$	$\frac{-0.093...}{0.061}$	$\frac{0.029...}{0.061}$	$\frac{0.050...}{0.073}$	$\frac{0.019...}{0.053}$	$\frac{-0.004...}{0.024}$
	2	$\frac{0.059...}{0.154}$	$\frac{0.038...}{0.065}$	$\frac{0.069...}{0.189}$	$\frac{0.035...}{0.176}$	$\frac{-0.366...}{0.083}$	$\frac{-0.049...}{0.073}$	$\frac{-0.124...}{0.035}$	$\frac{-1.713...}{0.030}$	$\frac{0.031...}{0.042}$	$\frac{0.034...}{0.061}$	$\frac{0.046...}{0.064}$	$\frac{0.060...}{0.091}$
	3	$\frac{0.038...}{0.517}$	$\frac{0.161...}{0.190}$	$\frac{0.036...}{0.164}$	$\frac{0.021...}{0.040}$	$\frac{-0.260...}{0.064}$	$\frac{-0.054...}{0.053}$	$\frac{-0.130...}{0.029}$	$\frac{-1.097...}{0.068}$	$\frac{0.077...}{0.094}$	$\frac{0.055...}{0.083}$	$\frac{0.100...}{0.160}$	$\frac{0.272...}{0.384}$
F_{3N}	1	$\frac{-0.004...}{-0.003}$	$\frac{-0.005...}{-0.004}$	$\frac{-0.002...}{0.001}$	$\frac{0.001...}{0.018}$	$\frac{0.001...}{0.416}$	$\frac{-0.004...}{0.435}$	$\frac{-0.012...}{0.083}$	$\frac{-0.149...}{0.091}$	$\frac{0.035...}{0.049}$	$\frac{0.004...}{0.032}$	$\frac{-0.008...}{-0.003}$	$\frac{-0.012...}{-0.003}$
	2	$\frac{0.001...}{0.002}$	$\frac{<0.001...}{0.001}$	$\frac{0.001...}{0.006}$	$\frac{0.007...}{0.142}$	$\frac{-0.006...}{0.479}$	$\frac{-0.042...}{0.095}$	$\frac{-0.129...}{0.042}$	$\frac{-1.932...}{0.042}$	$\frac{0.026...}{0.050}$	$\frac{0.012...}{0.026}$	$\frac{0.004...}{0.011}$	$\frac{0.006...}{0.015}$
	3	$\frac{0.010...}{0.015}$	$\frac{0.006...}{0.009}$	$\frac{0.008...}{0.025}$	$\frac{0.030...}{0.068}$	$\frac{-0.003...}{0.201}$	$\frac{-0.046...}{0.129}$	$\frac{-0.164...}{0.045}$	$\frac{-1.872...}{0.105}$	$\frac{0.083...}{0.132}$	$\frac{0.041...}{0.077}$	$\frac{0.041...}{0.078}$	$\frac{0.053...}{0.101}$

Био-масса	Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Z_{IN}	1	$\frac{-0.351...}{-0.050}$	$\frac{-0.073...}{-0.050}$	$\frac{-0.057...}{-0.040}$	$\frac{-0.049...}{0.237}$	$\frac{-0.067...}{0.964}$	$\frac{-0.247...}{0.439}$	$\frac{-0.224...}{0.375}$	$\frac{-0.159...}{0.193}$	$\frac{-0.076...}{0.328}$	$\frac{-0.111...}{0.360}$	$\frac{-0.207...}{0.301}$	$\frac{-0.131...}{0.010}$
	2	$\frac{-0.096...}{-0.024}$	$\frac{-0.076...}{-0.039}$	$\frac{-0.053...}{0.070}$	$\frac{-0.033...}{0.931}$	$\frac{-0.164...}{0.414}$	$\frac{-0.134...}{0.319}$	$\frac{-0.138...}{0.243}$	$\frac{-0.099...}{0.167}$	$\frac{-0.056...}{0.276}$	$\frac{-0.065...}{0.290}$	$\frac{-0.119...}{0.229}$	$\frac{-0.140...}{0.159}$
	3	$\frac{-0.091...}{0.301}$	$\frac{-0.104...}{0.124}$	$\frac{-0.065...}{0.435}$	$\frac{-0.244...}{0.468}$	$\frac{-0.254...}{0.460}$	$\frac{-0.177...}{0.307}$	$\frac{-0.150...}{0.219}$	$\frac{-0.094...}{0.172}$	$\frac{-0.055...}{0.363}$	$\frac{-0.139...}{0.437}$	$\frac{-0.237...}{0.466}$	$\frac{-0.298...}{0.401}$
Z_{2N}	1	$\frac{-0.325...}{-0.043}$	$\frac{-0.068...}{-0.039}$	$\frac{-0.049...}{-0.026}$	$\frac{-0.039...}{0.033}$	$\frac{-0.025...}{0.631}$	$\frac{-0.377...}{1.002}$	$\frac{-0.357...}{0.503}$	$\frac{-0.216...}{0.233}$	$\frac{-0.125...}{0.293}$	$\frac{-0.138...}{0.236}$	$\frac{-0.144...}{0.103}$	$\frac{-0.089...}{-0.006}$
	2	$\frac{-0.121...}{-0.032}$	$\frac{-0.067...}{-0.026}$	$\frac{-0.045...}{0.018}$	$\frac{-0.033...}{0.183}$	$\frac{-0.107...}{0.920}$	$\frac{-0.320...}{0.612}$	$\frac{-0.219...}{0.302}$	$\frac{-0.149...}{0.167}$	$\frac{-0.100...}{0.233}$	$\frac{-0.116...}{0.223}$	$\frac{-0.120...}{0.149}$	$\frac{-0.085...}{0.061}$
	3	$\frac{-0.061...}{0.072}$	$\frac{-0.056...}{0.036}$	$\frac{-0.045...}{0.100}$	$\frac{-0.028...}{0.225}$	$\frac{-0.081...}{0.747}$	$\frac{-0.381...}{0.598}$	$\frac{-0.232...}{0.250}$	$\frac{-0.146...}{0.186}$	$\frac{-0.122...}{0.365}$	$\frac{-0.209...}{0.418}$	$\frac{-0.232...}{0.363}$	$\frac{-0.172...}{0.181}$

В районе 3 значения k_{of1} для диатомовых водорослей F1 для указанных периодов колеблются в следующих пределах: 1) от -0.229 до 1.357 сут^{-1} ; 2) от -0.157 до 0.195 сут^{-1} ; 3) от -0.040 до 0.190 сут^{-1} ; 4) от -0.027 до 0.801 сут^{-1} и 5) от -0.119 до 0.641 сут^{-1} .

Таким образом, наиболее благоприятные условия для развития биомассы диатомовых водорослей F1 в районах 1 и 2 приходятся на весенний период, а в районе 3 – на период с начала года. В летний период условия развития биомассы F1 примерно одинаковы в районах 1–3, а в осенний период они более благоприятны в районах 1 и 3 в сравнении с районом 2.

В развитии биомассы фитопланктона F2 условно выделяются следующие временные периоды: 1) январь–март; 2) апрель–май; 3) июнь–август; 4) сентябрь–декабрь. В водах района 1 выделены следующие диапазоны изменения значений k_{of2} для указанных временных интервалов: 1) от 0.009 до 0.055 сут^{-1} ; 2) от 0.005 до 0.550 сут^{-1} ; 3) от -0.093 до 0.185 сут^{-1} ; 4) от 0.019 до 0.073 сут^{-1} . К концу года значение k_{of2} снижается до -0.004 сут^{-1} .

В водах района 2 пределы колебаний k_{of2} для F2 в указанные временные периоды составляли: 1) от 0.038 до 0.189 сут^{-1} ; 2) от -0.366 до 0.176 сут^{-1} ; 3) от -1.713 до 0.073 сут^{-1} ; 4) от 0.031 до 0.091 сут^{-1} . К концу года значение k_{of2} составляло 0.068 сут^{-1} .

Диапазон колебаний значений k_{of2} в водах района 3 для выделенных временных периодов составлял: 1) от 0.036 до 0.517 сут^{-1} ; 2) от -0.260 до 0.064 сут^{-1} ; 3) от -1.097 до 0.068 сут^{-1} ; 4) от 0.055 до 0.384 сут^{-1} . В конце года значение k_{of2} оставалось высоким (0.364 сут^{-1}).

Таким образом, условия для развития фитопланктона F2 в районе 1 наиболее благоприятны в весенний период, а в районах 2 и 3 – с начала года. В летний период условия развития биомассы F2 более предпочтительны в районе 1 в сравнении с районами 2 и 3. В осенний период условия более благоприятны для развития F2 в районе 3 в сравнении с районами 1 и 2.

Для биомассы фитопланктона F3 можно в течение года условно выделить периоды: 1) январь–март; 2) апрель–май; 3) июнь–август; 4) сентябрь–октябрь и 5) ноябрь–декабрь. Для вод района 1 выделены следующие диапазоны изменения значений k_{of3} для указанных временных периодов: 1) от -0.005 до 0.001 сут^{-1} ; 2) от 0.001 до 0.416 сут^{-1} ; 3) от -0.149 до 0.435 сут^{-1} ; 4) от 0.004 до 0.049 сут^{-1} и 5) от -0.008 до -0.003 сут^{-1} . Значение k_{of3} к концу года уменьшается до -0.012 сут^{-1} .

Для района 2 пределы колебаний k_{of3} для F3 в выделенные временные интервалы составляли: 1) от < 0.001 до 0.006 сут^{-1} ; 2) от -0.006 до 0.479 сут^{-1} ; 3) от -1.932 до 0.095 сут^{-1} ; 4) от 0.012 до 0.050 сут^{-1} и 5) от 0.004 до 0.015 сут^{-1} .

В водах района 3 пределы колебаний значений k_{of3} для указанных выше временных периодов составляли: 1) от 0.006 до 0.025 сут^{-1} ; 2) от -0.003 до 0.201 сут^{-1} ; 3) от -1.872 до 0.129 сут^{-1} ; 4) от 0.041 до 0.132 сут^{-1} . Период 5 в данном районе не выражен, и к концу года значение k_{of3} оставалось сравнительно высоким (0.064 сут^{-1}).

Таким образом, наиболее благоприятные условия для развития биомассы фитопланктона F3 в районах 1–3 приходятся на весенний период. В летний период условия развития биомассы F3 более благоприятны в районе 1 в сравнении с районами 2 и 3, а в осенний период они более благоприятны в районах 2 и 3 в сравнении с районом 1.

Для развития биомассы зоопланктона Z1 выделяются в течение года следующие временные интервалы: 1) январь–март; 2) апрель–июль; 3) август–ноябрь; 4) декабрь. В районе 1 интервалы изменений k_{oz1} для указанных временных

периодов составляли: 1) от -0.351 до -0.040 сут $^{-1}$; 2) от -0.247 до 0.964 сут $^{-1}$; 3) от -0.207 до 0.360 сут $^{-1}$; 4) от -0.131 до 0.010 сут $^{-1}$. Значение k_{0F2} к концу года снижается до -0.112 сут $^{-1}$.

В районе 2 пределы изменения k_{0Z1} для Z1 в указанные периоды составляют: 1) от -0.096 до 0.070 сут $^{-1}$; 2) от -0.164 до 0.931 сут $^{-1}$; 3) от -0.119 до 0.290 сут $^{-1}$. В декабре диапазон колебаний значений k_{0Z1} сохраняется таким же, как и в осенние месяцы, и в конце года значение k_{0F2} снижается до -0.140 сут $^{-1}$.

Для района 3 значения k_{0Z1} для указанных периодов меняются в следующих пределах: 1) от -0.104 до 0.435 сут $^{-1}$; 2) от -0.254 до 0.468 сут $^{-1}$; 3) от -0.237 до 0.466 сут $^{-1}$. Диапазон колебаний значений k_{0Z1} в декабре и в осенние месяцы существенно не отличается, а к концу года значение k_{0Z1} снижается до -0.286 сут $^{-1}$.

Таким образом, в районах 1 и 2 наиболее благоприятный период для развития биомассы Z1 приходится на весенний сезон, а летом наибольшие значения k_{0Z1} в указанных районах ниже, чем в весенний период, примерно в три раза. В районе 3 во все выделенные периоды года диапазон изменения значений k_{0Z1} в целом сохраняется.

Развитие биомассы зоопланктона Z2 можно характеризовать значениями k_{0Z2} в следующих временных интервалах: 1) январь–март; 2) апрель–июль; 3) август–октябрь; 4) ноябрь–декабрь. Для района 1 пределы изменений k_{0Z2} для указанных периодов составляли: 1) от -0.325 до -0.026 сут $^{-1}$; 2) от -0.377 до 1.002 сут $^{-1}$; 3) от -0.216 до 0.293 сут $^{-1}$; 4) от -0.144 до 0.103 сут $^{-1}$. Значение k_{0Z2} к концу года уменьшается до -0.074 сут $^{-1}$.

В районе 2 значения k_{0Z2} меняются в указанные периоды в следующих пределах: 1) от -0.121 до 0.018 сут $^{-1}$; 2) от -0.320 до 0.920 сут $^{-1}$; 3) от -0.149 до 0.233 сут $^{-1}$; 4) от -0.120 до 0.149 сут $^{-1}$. Значение k_{0Z2} к концу года снижается до -0.082 сут $^{-1}$.

Для района 3 значения k_{0Z2} для указанных периодов меняются в следующих пределах: 1) от -0.061 до 0.100 сут $^{-1}$; 2) от -0.381 до 0.747 сут $^{-1}$; 3) от -0.209 до 0.418 сут $^{-1}$; 4) от -0.232 до 0.363 сут $^{-1}$. Колебания значений k_{0Z2} в декабре и в осенние месяцы практически сохраняются. К концу года значение k_{0Z2} снижается до -0.123 сут $^{-1}$.

Таким образом, в районах 1–3 наиболее благоприятный период для развития биомассы Z1 приходится на весенний сезон. Летом наибольшие значения k_{0Z1} в указанных районах ниже, чем в весенний период, примерно в два-четыре раза. В районе 3 летом и осенью диапазон изменения значений k_{0Z} в целом выше в сравнении с районами 1 и 2.

4.4. Построение графиков по расчетной информации из блока «ВРЕМЯ ОБОРОТА»

Для параметров блока «ВРЕМЯ ОБОРОТА» представлены графики, характеризующие оборачиваемость биомасс в единицах $N - trB1N$, $trF1N$, $trZ1N$ (рис. 32); $trF2N$, $trF3N$, $trZ2N$ (рис. 33), а также оборот химических форм $N - trDON$, $trND$ (рис. 34); $trNH_4$, $trNO_2$, $trNO_3$ (рис. 35); $P - trDIP$, $trDOP$, $trPD$ (рис. 36) и $Si - trSiO_4$, $trSiORG$, $trSiD$ (рис. 37). Дополнительно на рис. 38 представлены изменения в течение года значений времени оборота NF и $B4C$, а на рис. 39 – DOC и O_2 .

Показатель «время оборота» (τ , сут), вычисляемый для химических и биологических переменных состояния водной среды, служит одной из характе-

ристик, позволяющей раскрыть особенности динамики исследуемых переменных в течение года. Значение времени оборота τ для химических переменных рассчитывается в виде отношения мгновенных величин концентраций веществ к суммарной скорости их изменения (берется по модулю их значений), а для биомасс гидробионтов – в виде отношения мгновенных величин самой биомассы рассматриваемого представителя биологического сообщества к суммарной скорости всех процессов (по модулю), участвующих в формировании этой биомассы. Фактически значение τ – теоретическое время, за которое в конкретный момент времени может произойти полное обновление имеющейся в данный момент времени концентрации вещества (или биомассы рассматриваемого гидробионта) при учете всех скоростей изменения этой характеристики.

Анализ изменения показателя в течение года выявляет периоды наиболее (или наименее) активного изменения концентрации вещества (или биомассы) в зависимости от условий среды обитания и поступлений БВ из внешних источников. Как правило, в течение зимнего периода все процессы замедлены, скорость оборота (обратная величина τ) вещества/биомассы наименьшая, и, следовательно, времена оборота τ для химических и биологических переменных для этого периода характеризуются наибольшими значениями. Весной в период активизации гидробионтов за несколько суток развитие всех процессов ускоряется и значения τ для химических и биологических компонентов резко снижаются. Летом условия развития гидробионтов оптимальны и оборачиваемость компонентов наибольшая, круговорот веществ и биомассы проходит наиболее активно и показатель τ для химических и биологических переменных имеет наименьшие значения. К концу года круговорот веществ в водной экосистеме замедляется и устанавливаются значения τ , отвечающие комплексу физических, химических и биологических условий морской среды.

Однако в зависимости от условий поступления органических и минеральных веществ из внешних источников, а также внутренней циркуляции БВ для каждого компонента (химического и биологического) в каждом из районов могут быть выделены свои характерные диапазоны изменения показателя τ . Далее проведем анализ таких изменений для биомасс гидробионтов сообщества и концентраций БВ для исследуемых районов 1–3 Татарского прол.

Анализ динамики времени оборота биомасс гидробионтов (рис. 32, 33 и 38). По данным, представленным на рисунках, были оценены характерные диапазоны изменения значений τ для каждой группы гидробионтов (табл. 4.4.1). Для упрощения анализа этих данных (по значениям τ для гидробионтов) условно выделяем следующие периоды с характерными диапазонами изменений этого параметра: 1) зимний (январь–март); 2) весенний (апрель–май); 3) летний (июнь–август); 4) осенний (сентябрь–ноябрь) и 5) переход к зиме (декабрь). Некоторое исключение можно сделать для гетеротрофных бактерий В1: в сравнении с районом 1 при рассмотрении значений $\tau_{В1}$ с начала года продолжительность зимнего периода для них в районах 2 и 3 ограничивается меньшим временным интервалом (январь–февраль), а весеннего периода – большим (март–май).

Сезонные колебания значений $\tau_{В1}$ определяются внутригодовыми изменениями температуры воды и концентраций БВ, приходящихся на единицу биомассы В1. В зимний и переходный от осени к зиме периоды значения $\tau_{В1}$ для района 1 имеют более высокие значения (соответственно 22.12–38.06 и 13.14–20.90 сут) в сравнении с районами 2 и 3 (соответственно для периодов: зимнего 12.32–30.31 и 1.68–12.31 сут и переходного к зиме – 7.96–15.12 и 6.52–8.01 сут). Для весеннего, летнего и осеннего периодов диапазоны изменения параметра $\tau_{В1}$

для районов 1–3 в целом отличаются мало: общие для данных периодов пределы колебаний этого параметра для указанных районов составляют 2.77–20.27, 7.58–13.63 и 5.20–12.37 сут соответственно.

Таблица 4.4.1

**Диапазон изменений значений τ (сут) для характерных периодов развития биомасс гидробионтов в районах 1–3 Татарского прол.
(в скобках – месяцы)**

Рай- он	Био- масса	Период				
		зимний (I–III)	весенний (IV–V)	летний (VI–VIII)	осенний (IX–XI)	переходный от осени к зиме (XII)
1	B1	22.12–38.06	7.84–20.27	7.72–11.89	5.51–12.37	13.14–20.90
2		12.32–30.31*	2.77–13.71**	7.58–13.24	5.20–11.38	7.96–15.12
3		1.68–12.31*	8.99–12.36**	7.91–13.63	6.13–10.77	6.52–8.01
1	B4	2.74–6.91	1.14–6.32	1.14–2.55	1.39–3.48	3.76–8.36
2		2.42–4.78	1.16–2.19	1.18–3.32	1.57–2.76	2.35–3.54
3		1.25–3.42	1.15–1.21	1.20–5.02	2.24–4.48	1.91–1.94
1	F1	3.69–32.15	3.06–26.62	2.06–17.99	1.00–20.64	2.37–27.48
2		1.45–24.10	1.07–12.17	2.38–21.53	0.89–13.61	1.16–15.89
3		1.12–22.99	3.80–14.96	2.46–20.80	0.94–18.72	1.19–12.54
1	F2	12.54–72.32	1.99–42.17	5.27–58.06	10.96–30.30	32.23–62.00
2		3.31–20.04	6.36–15.24	1.20–46.06	2.39–30.86	11.15–16.73
3		1.45–22.84	11.16–23.91	1.84–48.27	2.31–14.70	2.57–3.60
1	F3	354.76–1007.96	2.32–240.63	2.20–51.60	14.70–157.27	141.25–184.98
2		107.91–1070.31	5.32–97.23	1.04–29.16	1.56–104.24	49.89–167.51
3		30.86–150.94	5.01–214.67	1.14–31.76	1.07–20.12	10.21–18.82
1	Z1	10.21–34.08	1.19–11.96	2.18–11.78	2.73–14.68	11.79–22.98
2		13.11–30.59	2.44–13.08	2.76–14.35	3.02–15.27	5.14–11.98
3		3.45–16.32	2.31–7.67	2.82–15.81	2.20–15.64	2.31–5.11
1	Z2	6.13–46.19	2.51–45.57	1.61–11.80	4.70–19.10	19.46–29.53
2		15.51–39.53	1.73–38.05	2.29–12.56	5.60–16.64	12.34–20.93
3		11.91–30.46	2.11–28.92	2.32–13.82	3.42–14.63	6.28–11.60

Примечание: * – для месяцев I–II; ** – для III–V.

В целом более быстрый, чем у B1, оборот биомасс выявлен для NF-окисляющих бактерий B4, о чем свидетельствует меньший разброс значений τ_{B4} в разные периоды года для районов 1–3. Обобщенные для районов 1–3 значения τ_{B4} для зимнего, весеннего, летнего, осеннего и переходного к зиме периодов меняются в следующих пределах: 1.25–6.91, 1.14–6.32, 1.14–5.02, 1.39–4.48 и 1.91–8.36 сут соответственно (табл. 4.4.1).

Для фито- и зоопланктона на колебания значений τ оказывают влияние (помимо температуры воды и концентраций БВ, приходящихся на единицу их биомасс) суточные изменения освещенности водной поверхности. Поэтому в сравнении с изменением значений τ_{B1} значения τ для планктонных организмов

во все сезоны года имеют бóльший спектр изменчивости, но для каждой группы планктонных организмов он имеет свои характерные пределы. Например, для диатомовых водорослей F1 общие для районов 1–3 пределы изменения τ_{F1} для зимнего, весеннего, летнего, осеннего и переходного к зиме периодов составляют соответственно 1.12–32.15, 1.07–26.62, 2.06–21.53, 0.89–20.64, 1.16–27.48 сут.

В целом медленнее, чем для диатомовых F1, осуществляется оборот биомассы фитопланктона F2. Следует также отметить, что в динамике показателя τ_{F2} отличия отмечаются по всем районам: его значения во все периоды года в районе 1 показывают более медленный оборот биомассы F2, чем в районах 2 и 3, а в районе 2 – он в целом медленнее, чем в районе 3. Почти такие же закономерности изменения показателя τ от района к району выявляются для фитопланктона F3 при существенно более медленном обороте биомассы (в сравнении с биомассами B1 и F1) для зимнего, весеннего, осеннего и переходного к зиме периодов. Только в летний период значения τ_{F2} и τ_{F3} сопоставимы, что свидетельствует о том, что в этот период интенсивность оборота биомасс F2 и F3 практически одинакова, но она существенно ниже, чем у фитопланктона F1 (табл. 4.4.1).

Значения τ для растительного зоопланктона Z1 в целом сопоставимы с изменениями в течение года τ_{F1} . Однако тенденции изменения значений τ_{Z1} в течение года по районам 1–3 несколько иные. В зимний период значения τ_{Z1} в районах 1 и 2 меняются в сопоставимых пределах (10.21–34.08 сут). Подобная тенденция для районов 1 и 2 сохраняется также в весенний период, однако диапазон изменений τ_{Z1} становится меньше (1.19–13.08 сут). В районе 3 зимой и весной оборачиваемость биомассы Z1 происходит существенно быстрее и значения τ_{Z1} колеблются в указанные сезоны в пределах 3.45–16.32 и 2.31–7.67 сут соответственно. В летний и осенний периоды оборот биомассы Z1 развивается в районах 1–3 примерно с одинаковой интенсивностью и общие для районов 1–3 пределы колебаний значений τ_{Z1} составляют 2.18–15.81 и 2.20–15.64 сут в указанные сезоны соответственно. Однако в переходный от осени к зиме период районы 1–3 характеризуются разными условиями оборота биомассы Z1: ее скорость существенно замедляется в районе 1, становится несколько медленнее в районе 2 и ускоряется в районе 3, а значения τ_{Z1} для указанных районов меняются в пределах 11.70–22.98, 5.14–11.98 и 2.31–5.11 сут соответственно.

У хищного зоопланктона Z2 условия изменения оборота биомассы в районах 1–3 сопоставимы с таковыми для зоопланктона Z1 только для летнего периода, который характеризуется общим для районов диапазоном колебаний τ_{Z2} 1.61–13.82 сут. В другие периоды года оборот биомасс Z2 происходит в целом медленнее, чем оборот биомасс Z1. На это указывают оцененные диапазоны изменений значений τ_{Z2} для разных периодов года (табл. 4.4.1).

Анализ динамики времени оборота концентраций БВ (рис. 34–37), NF (рис. 38) и O_2 (рис. 39). Оцененные по результатам моделирования диапазоны изменений в отдельные месяцы значений τ для БВ, NF и O_2 представлены в табл. 4.4.2. Полученные данные по временам оборота химических параметров могут быть оценены по разным направлениям их анализа: с учетом особенностей элементного состава химических компонентов в исследуемых водах (присутствие соединений важнейших элементов – N, P, Si, C или фракционного состава их соединений – растворенных, взвешенных, органических, минеральных форм разных элементов), а также специфики распределения τ по исследуемым районам и по сезонам года. Также расчетные значения τ можно анализировать, ориентируясь на нижний или верхний пределы его колебаний, амплитуду и средние величины для отдельных переменных и разных исследуемых районов.

Ориентируясь на данные табл. 4.4.2 по возрастанию нижнего предела изменения τ , исследуемые химические вещества можно расположить для каждого периода в соответствующие ряды:

– в зимний период – NH_4 ($\tau = 1.03$ сут) < NO_2 (1.22) < DOSi (2.31) < SiD (3.62) < ND (7.93) < PD (9.74) < DOP (16.91) < NO_3 (17.06) < DON (19.63) < DIP (29.58) < DISi (38.45) < DOC (40.87) < NF (104.76) < O_2 (190.75 сут);

– в весенний период – NH_4 (0.38 сут) < NO_2 (0.45) < PD (0.66) < DOSi (0.82) < SiD (0.93) < DOP (1.77) < NO_3 (4.08) < ND (6.45) < DIP (10.45) < DOC (12.16) < DON (15.08) < DISi (73.97) < NF (93.94) < O_2 (310.7 сут);

Таблица 4.4.2

**Диапазон изменений значений τ (сут) для БВ, NF и O_2
для отдельных периодов года в районах 1–3 Татарского прол.
(периоды года соответствуют характерным периодам развития
биомасс гидробионтов)**

Рай-он	Вещество	Период				
		зимний (I–III)	весенний (IV–V)	летний (VI–VIII)	осенний (IX–XI)	переход от осени к зиме (XII)
1	DON	862.46–2265.5	15.08–2165.6	18.77–278.10	271.93–1000.3	863.92–1702.4
2		281.44–951.86	31.84–157.88	21.94–270.89	269.44–2342.3	1149.1–2664.1
3		19.73–106.01	52.61–148.42	38.44–462.69	102.81–444.45	81.30–117.85
1	ND	60.68–111.24	6.45–102.67	0.71–14.24	0.75–31.58	37.50–69.03
2		48.48–148.29	7.59–41.13	0.19–10.00	0.24–5.33	4.16–25.21
3		7.93–68.93	9.60–29.09	0.10–10.17	0.09–10.26	8.28–16.54
1	NH_4	34.69–55.27	0.60–51.63	0.31–2.31	0.39–3.92	4.40–11.34
2		13.30–45.04*	0.38–3.08**	0.33–3.10	0.36–2.97	1.07–4.51
3		1.03–11.78*	0.44–1.90**	0.34–6.31	0.42–6.41	0.70–1.21
1	NO_2	8.02–13.22	0.68–12.93	0.42–2.05	0.50–3.61	3.83–6.96
2		7.09–12.24*	0.45–3.52**	0.44–2.45	0.51–2.42	1.51–3.64
3		1.22–6.39*	0.52–1.89**	0.44–3.74	0.51–3.65	0.85–1.20
1	NO_3	856.08–1721.4	10.33–866.48	3.74–20.22	5.093–29.65	31.97–63.84
2		206.41–1388.2*	5.39–79.41**	3.51–26.13	4.54–12.80	12.10–29.61
3		17.06–283.66*	4.68–19.30**	3.17–31.33	4.82–21.64	8.03–11.48
1	DOP	474.95–2576.4	3.09–7.51	1.81–5.36	0.99–5.36	3.61–43.43
2		219.31–832.4*	7.68–58.50**	2.50–10.49	2.50–10.49	0.80–6.78
3		16.91–81.41*	1.77–2.45**	1.66–18.66	1.66–18.66	1.35–2.44
1	PD	59.21–70.06	2.34–4.13	0.70–1.85	0.96–1.85	5.27–29.79
2		69.55–80.10*	3.46–21.94**	0.37–3.40	0.48–1.52	1.30–3.87
3		9.74–54.58*	0.66–3.96**	0.26–1.31	0.25–1.62	0.90–1.23
1	DIP	4749.8–15864.1	10.45–4508.4	12.82–172.60	1.28–151.05	2.54–86.75
2		308.34–6195.3*	20.42–93.64**	18.84–198.72	0.91–174.92	0.97–4.26
3		29.58–146.88*	40.87–200.94**	70.62–539.82	15.93–120.29	17.34–83.92
1	DOSi	183.10–202.91	1.45–4.67	3.07–22.73	2.72–27.64	12.65–67.59
2		76.63–171.22*	0.82–38.88**	1.30–10.08	3.27–21.17	6.61–32.80
3		2.31–42.95*	4.23–30.93**	16.48–30.88	3.68–32.79	6.70–31.52
1	SiD	145.86–207.77	1.18–202.06	1.73–16.69	11.12–43.24	48.33–134.29
2		161.46–357.34	0.93–38.25	1.18–7.77	4.36–23.42	21.16–49.81
3		3.62–64.80	2.48–12.67	9.03–20.67	3.99–15.71	13.48–23.71

Рай- он	Ве- ще- ство	Период				
		зимний (I–III)	весенний (IV–V)	летний (VI–VIII)	осенний (IX–XI)	переход от осени к зиме (XII)
1	DISi	662.04–1350.8	80.30–232.82	186.13–649.67	24.78–592.85	110.00–883.21
2		414.39–1004.8*	73.97–454.81**	72.57–1079.8	32.47–862.53	64.26–391.83
3		38.45–369.48*	340.17–908.49**	69.82–807.93	39.44–256.02	64.37–248.94
1	DOC	1855.9–4018.5	12.16–20.14	21.18–150.37	42.10–261.22	122.30–629.11
2		800.95–1370.8*	13.20–129.03**	22.01–154.19	23.10–150.04	19.28–27.11
3		40.87–87.00*	88.25–171.19**	34.56–357.74	39.59–335.34	36.58–43.95
1	NF	104.79–315.89	173.49–283.99	23.92–225.89	2.00–64.41	20.87–81.01
2		104.76–315.52	172.57–282.70	3.43–58.25	1.82–42.67	1.90–9.55
3		104.79–314.79	93.94–250.39	4.37–60.34	2.15–144.31	2.12–2.22
1	O ₂	722.96–8384.2	310.67–657.52	410.89–1411.4	130.09–1137.5	335.41–924.17
2		190.04–4593.6	856.78–1195.9	43.85–1740.8	207.31–1022.8	302.87–555.61
3		180.75–1517.6	634.05–3315.6	60.93–1884.2	81.52–2796.9	81.15–109.05

Примечание: * – для I–II; ** – для III–V.

– в летний период – ND (0.10 сут) < PD (0.26) < NH₄ (0.31) < NO₂ (0.42) < SiD (1.18) < DOSi (1.30) < DOP (1.66) < NO₃ (3.17) < NF (3.43) < DIP (12.82) < DON (18.77) < DOC (21.18) < O₂ (43.85) < DISi (72.57 сут);

– в осенний период – ND (0.09 сут) < PD (0.25) < NH₄ (0.36) < NO₂ (0.50) < DIP (0.91) < DOP (0.99) < NF (1.82) < DOSi (2.72) < SiD (3.99) < NO₃ (4.54) < DOC (23.10) < DISi (24.78) < O₂ (81.52) < DON (102.81 сут);

– в переходный от осени к зиме период – NH₄ (0.70 сут) < DOP (0.80) < NO₂ (0.85) < PD (0.90) < DIP (0.97) < NF (1.90) < ND (4.16) < DOSi (6.61) < NO₃ (8.03) < SiD (13.48) < DOC (19.28) < DISi (64.26) < O₂ (81.15) < DON (81.30 сут).

Значения нижнего предела τ лучше всего характеризуют потенциал круговорота рассматриваемых химических компонентов. Ассортимент компонентов, характеризующих их расположение в левых и правых сторонах выстроенных рядов τ , отличается достаточной стабильностью, а последовательность расположения химических веществ по возрастанию значений τ в целом мало зависит от периода года. В левом крыле (с наименьшими значениями τ) всегда сосредоточены вещества, отличающиеся, с одной стороны, небольшим содержанием, а, с другой, достаточно мобильные, легковключаемые в оборот гидробионтами, активно участвующие в круговороте и претерпевающие последовательную окислительную трансформацию из одной формы в другую. К таким веществам относятся NH₄, NO₂, DOSi, SiD, ND, PD, чаще всего располагающиеся по значениям нижнего предела колебаний τ в левых частях рядов.

Компоненты, расположенные в правой части рядов τ , как правило, отличаются повышенными концентрациями, а также достаточно стабильными условиями поступления в водную среду (в отдельные сезоны последовательность их расположения может меняться из-за возможных нарушений отдельных факторов, влияющих и обеспечивающих условия их поступления и нахождения в водной среде). К таким компонентам относятся DON, DIP, DISi, DOC, NF, O₂, чаще всего фиксируемые по значениям нижнего предела колебаний τ в правых частях рядов.

В зимний и в переходный к зиме периоды оборачиваемость и условия круговорота компонентов в большей степени определяются процессами их про-

странственного переноса водными массами. Весной условия оборота ускоряются из-за активизации гидробионтов, начинающих наращивать свою биомассу и накапливать в ней БВ. В летний и осенний периоды эти процессы происходят наиболее активно, что проявляется в интенсивном образовании детрита и его активном разложении до органических форм биогенных элементов (оборот в эти периоды ND и PD осуществляется даже активнее, чем минеральных фракций элементов). В переходный от осени к зиме период происходит спад активности гидробионтов, снижение интенсивности образования детрита и его распада до органических фракций и происходит постепенный переход экосистемы на условия функционирования в зимних условиях. Эту последовательность изменений в экосистеме водоема как раз и характеризуют оцененные значения нижнего предела времени оборота τ для отдельных химических компонентов.

По возрастанию в зимний период верхнего предела изменения τ последовательность расположения химических веществ несколько меняется (табл. 4.4.2):

– в зимний период – NO_2 (11.8 сут) < NH_4 (55.3) < PD (80.1) < ND (111.2) < DOSi (202.9) < NF (315.9) < SiD (357.3) < DISi (1004.8) < NO_3 (1388.2) < DON (2265.5) < DOP (2576.4) < DOC (4018.5) < DIP (6195.3) < O_2 (8384.2 сут);

– в весенний период – NO_2 (12.9 сут) < PD (21.9) < DOSi (38.9) < NH_4 (51.6) < DOP (58.5) < ND (102.7) < DOC (171.2) < SiD (202.1) < NF (284.0) < NO_3 (866.5) < DISi (908.5) < DON (2165.6) < O_2 (3315.6) < DIP (4508.4 сут);

– в летний период – PD (3.40 сут) < NO_2 (3.74) < NH_4 (6.31) < ND (14.24) < DOP (18.66) < SiD (20.67) < DOSi (30.88) < NO_3 (31.33) < NF (225.89) < DOC (357.74) < DON (443.92) < DIP (539.82) < DISi (1079.93) < O_2 (1884.2 сут);

– в осенний период – PD (1.85 сут) < NO_2 (3.65) < NH_4 (6.41) < SiD (15.71) < DOP (18.44) < NO_3 (29.65) < ND (31.58) < DOSi (32.79) < NF (144.31) < DIP (174.92) < DOC (335.34) < DISi (862.53) < DON (2342.3) < O_2 (2796.9 сут);

– в переходный от осени к зиме период – NO_2 (6.96 сут) < NH_4 (11.34) < PD (29.70) < DOP (43.43) < NO_3 (63.84) < DOSi (67.59) < ND (69.03) < NF (81.01) < DIP (86.75) < SiD (134.29) < DOC (629.11) < DISi (883.21) < O_2 (924.17) < DON (2664.1 сут).

Значения верхнего предела τ также характеризуют потенциал круговорота рассматриваемых химических компонентов, однако эти значения отражают возможный эффект факторов среды, замедляющих условия трансформации и круговорота БВ. Учет в CNPSi-модели внутрисуточного изменения освещенности водной среды, снижающей в ночные часы (нет освещенности) рост биомасс фитопланктона, в итоге отражается и на характеристиках времени оборота БВ, используемых фитопланктоном в качестве субстратов питания (минеральные вещества, образующийся детрит и его распад). В остальном условия трансформации и круговорота БВ характеризуются значениями верхнего предела τ в такой же мере, как и значениями нижнего предела τ . Поэтому выявляется практически тот же набор химических переменных состояния морской среды, характеризующих изменения в разные периоды года верхнего предела значений τ , какой был выявлен при анализе изменений именно нижнего предела значений τ . Отличается немного от рядов значений нижнего предела τ лишь последовательность размещения биогенных компонентов в левой и правой частях рядов, выстроенных для разных периодов года для верхних пределов значений τ . Небольшая перестановка химических переменных вызвана тем, что на первые места по распределению значений верхнего предела τ выходят те переменные, у которых в целом ниже концентрации, и потому у этих переменных быстрее осуществляется оборачиваемость сохраняемого в них запаса БВ.

Во всем остальном условия их круговорота и влияние на переменные факторов среды точно такие же, как выявляют нижние пределы значений τ .

По возрастанию в зимний период амплитуды изменения τ (и ее средней величины) последовательность расположения химических веществ имеет вид (табл. 4.4.2):

– в зимний период – NO_2 (10.56; 5.3 сут) < NH_4 (54.24; 27.1) < PD (70.36; 35.2) < ND (103.31; 51.7) < DOSi (200.6; 100.3) < NF (211.13; 105.6) < SiD (353.72; 176.9) < DISi (966.35; 1483.2) < NO_3 (1371.14; 685.6) < DON (2245.87; 1122.9) < DOP (2559.53; 1279.8) < DOC (3977.63; 1988.6) < DIP (6165.72; 3082.9) < O_2 (8193.45; 4096.3 сут);

– в весенний период – NO_2 (12.5; 6.2 сут) < PD (21.3; 10.7) < DOSi (38.1; 19.0) < NH_4 (51.3; 25.6) < DOP (56.7; 28.4) < ND (96.2; 48.1) < DOC (159.0; 79.5) < NF (190.1; 95.0) < SiD (201.0; 100.5) < DISi (834.5; 417.3) < NO_3 (862.4; 431.2) < DON (2150.5; 1075.3) < O_2 (3004.9; 1502.5) < DIP (4497.9; 2249.0 сут);

– в летний период – PD (3.14; 1.6 сут) < NO_2 (3.32; 1.7) < NH_4 (6.00; 3.0) < ND (14.14; 7.1) < DOP (17.00; 8.5) < SiD (19.49; 9.8) < NO_3 (28.16; 14.1) < DOSi (29.58; 14.8) < NF (222.56; 111.3) < DOC (336.56; 168.3) < DON (425.15; 212.6) < DIP (527.0; 263.5) < DISi (1007.36; 503.7) < O_2 (1140.4; 570.2 сут);

– в осенний период – PD (1.60; 0.8 сут) < NO_2 (3.15; 1.6) < NH_4 (6.05; 3.0) < SiD (11.72; 5.9) < DOP (17.67; 8.8) < NO_3 (25.11; 12.6) < DOSi (30.07; 15.0) < ND (31.49; 15.7) < NF (142.49; 71.2) < DIP (174.01; 72.0) < DOC (312.24; 106.1) < DISi (837.75; 418.9) < DON (2239.5; 1119.7) < O_2 (2715.4; 1357.7 сут);

– в переходный от осени к зиме период – NO_2 (6.11; 3.1 сут) < NH_4 (10.64; 5.3) < PD (28.80; 14.4) < DOP (42.63; 21.3) < NO_3 (55.81; 27.9) < DOSi (60.98; 30.5) < ND (64.87; 32.4) < NF (79.11; 39.6) < DIP (85.78; 42.9) < SiD (120.81; 60.4) < DOC (609.83; 304.9) < DISi (818.95; 409.5) < O_2 (843.0; 421.5) < DON (2582.8; 1291.4 сут).

Амплитуда и среднее значение τ – своеобразные производные предыдущих двух, характеризующих нижний и верхний пределы изменений τ для химических переменных состояния водной среды. Отличаются лишь оцененные значения τ (им, однако, присущи закономерности, выявленные и для нижнего, и для верхнего пределов τ), но сохраняется (или почти сохраняется) последовательность распределения химических переменных, установленная при анализе рядов τ , характеризующих нижние и верхние пределы изменений этого показателя.

Следует отметить некоторые выявленные закономерности изменения показателя τ :

– зимой и в переходный от осени к зиме период одинакова последовательность расположения химических компонентов в рядах, характеризующих возрастание значений τ (в частности, верхних пределов его колебаний, амплитуд и средних);

– сравнение для районов 1–3 диапазонов изменения значений τ показывает, что наиболее быстрый круговорот веществ происходит в районе 3, в котором в целом выше в отдельные месяцы температура воды в сравнении с районами 1 и 2. Наиболее медленный круговорот веществ происходит в северном районе 1, в котором среднемесячные значения температуры воды ниже, чем в районах 2 и 3;

– сравнение значений τ для отдельных химических переменных для летнего периода, когда в целом оборачиваемость концентраций веществ осуществляется наиболее интенсивно, показывает, что самый быстрый оборот концентраций веществ имеют детритные фракции и минеральные компоненты биогенных элементов, активно вовлекаемые в биогенный круговорот и в окислительную трансформацию БВ, происходящую при непосредственном участии всех микроорганизмов сообщества экосистемы.

4.5. Построение графиков по расчетной информации из блока «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ»

Для параметров блока «ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ» представлены для районов 1–3 Татарского прол. графики, характеризующие изменения для каждого месяца значений продукции биомасс гидробионтов в единицах биомасс N, P, Si и C:

- для бактерий B1 в директории «Общая продукция B1»: Prod_1-3_B1C (рис. 40), Prod_1-3_B1N (рис. 41), Prod_1-3_B1P (рис. 42), Prod_1-3_B1Si (рис. 43);
- для первой группы фитопланктона F1 в директории «Общая продукция F1»: Prod_1-3_F1N (рис. 44), Prod_1-3_F1P (рис. 45), Prod_1-3_F1Si (рис. 46);
- для второй группы фитопланктона F2 в директории «Общая продукция F2»: Prod_1-3_F2N (рис. 47), Prod_1-3_F2P (рис. 48);
- для третьей группы фитопланктона F3 в директории «Общая продукция F3»: Prod_1-3_F3N (рис. 49), Prod_1-3_F3P (рис. 50);
- для первой группы растительного зоопланктона Z1 в директории «Общая продукция Z1»: Prod_1-3_Z1N (рис. 51), Prod_1-3_Z1P (рис. 52), Prod_1-3_Z1Si (рис. 53);
- для второй группы хищного зоопланктона Z2 в директории «Общая продукция Z2»: Prod_1-3_Z2N (рис. 54), Prod_1-3_Z2P (рис. 55);
- для NF-окисляющих бактерий в директории «Общая продукция B4»: Prod_1-3_B4C (рис. 56).

Анализ оцененных значений общей биопroduкции (ОБП) гидробионтов. Образование биомасс микроорганизмов и осуществляемая ими биотрансформация веществ регулируются факторами среды обитания (температура воды, освещенность, прозрачность, содержание в ней БВ и поступление их при рециклинге). Микроорганизмы поддерживают свою активность даже при низких остаточных концентрациях БВ за счет многократной их оборачиваемости. Присутствующие в водной среде органические и минеральные компоненты – вещественная основа формирования ОБП микроорганизмов сообщества морской среды. Формирующиеся в водной среде зависимости между химическими и биологическими переменными отражают значения ОБП гидробионтов (гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона, NF-окисляющих бактерий), рассчитываемые в модельных расчетах по внутренним потокам веществ (в единицах C, Si, N и P). Для каждого района значения ОБП гидробионтов на единицу объемов воды вычислялись на каждом шаге по времени. Они суммировались, в итоге получали годовые значения ОБП, которые учитывали пространственно-временные отличия факторов среды, влияющих на режим круговорота БВ и формирование биомасс микроорганизмов. При обработке файла информации с суммарными расчетными значениями ОБП сначала определяются значения ОБП для каждого месяца на единицу объема вод. Эти расчетные значения для каждого месяца представлены на рис. 40–56.

В районе 1 для бактерий B1 в единицах C, P и Si в течение года формируются по два максимума ОБП. В единицах C эти максимумы приходятся на май и ноябрь (5.5 и 1.9 г C/(м³ мес.)) (рис. 40), в единицах Si – также на май и ноябрь (1.5 и 0.8 г Si/(м³ мес.)) (рис. 43), в единицах P – на май–июнь (0.21–0.22 г P/(м³ мес.)) и ноябрь (0.28 г P/(м³ мес.)) (рис. 42). В единицах N выделяется один максимум ОБП бактерий B1, который приходится на май (1.16 г N/(м³ мес.)) (рис. 41).

В районе 2, как и в районе 1, для бактерий B1 в течение года в единицах C, P и Si выделяются по два максимума, а в единицах N – один максимум ОБП. В

единицах С максимумы ОБП бактерий В1 приходятся на апрель и ноябрь (4.5 и 1.3 г С/(м³ мес.)) (рис. 40), в единицах Si – на апрель–май и ноябрь (1.3–1.1 и 0.5 г Si/(м³ мес.)) (рис. 43), в единицах Р – на май–июнь (0.14–0.15 г Р/(м³ мес.)) и ноябрь–декабрь (0.15–0.16 г Р/(м³ мес.)) (рис. 42). В единицах N выделяется один максимум ОБП бактерий В1, который приходится на апрель–июнь (0.3–0.6 г N/(м³ мес.)) (рис. 41).

В районе 3 для бактерий В1 в единицах С, N, Р и Si в течение года формируются по два максимума ОБП. В единицах С эти максимумы приходятся на январь (2.1 г С/(м³ мес.)) и ноябрь–декабрь (3.7–3.8 г С/(м³ мес.)) (рис. 40), в единицах N – на январь–март (0.3–0.5 г N/(м³ мес.) и декабрь (0.7 г N/(м³ мес.)) (рис. 41), в единицах Р – на март–апрель (0.2 г Р/(м³ мес.)) и декабрь (1.1 г Р/(м³ мес.)) (рис. 42), в единицах Si – на январь (1.3 г Si/(м³ мес.)) и ноябрь–декабрь (1.7–2.0 г Р/(м³ мес.)) (рис. 43).

Распределение в течение года значений ОБП в районах 1–3 для фитопланктона F1 в единицах N, Р и Si значительно отличается. Так, в районе 1 для фитопланктона F1 в единицах N и Р в течение года формируются по одному максимуму ОБП: в единицах N этот максимум приходится на май (0.46 г N/(м³ мес.)) (рис. 44), а в единицах Р – на октябрь–ноябрь (0.09–0.13 г Р/(м³ мес.)) (рис. 45). В единицах Si, однако, четко выделяются два максимума ОБП, которые приходятся на май (0.57 г Si/(м³ мес.)) и октябрь–ноябрь (1.11–0.58 г Si/(м³ мес.)) (рис. 46).

В районе 2 для фитопланктона F1 в течение года в единицах Р и Si выделяются по два максимума, а в единицах N – один максимум ОБП. В единицах Р и Si первые максимумы ОБП фитопланктона F1 приходятся на апрель и составляют соответственно 0.028 г Р/(м³ мес.) и 0.33 г Si/(м³ мес.) (рис. 45 и 46). Вторые максимумы ОБП для F1 отмечаются по Р в октябре–декабре (0.051–0.052 г Р/(м³ мес.)) (рис. 45), а по Si – в октябре (0.49 г Si/(м³ мес.)) при повышенных значениях в соседние месяцы – в сентябре (0.18) и ноябре–декабре (0.23–0.21 г Si/(м³ мес.)) (рис. 46). В единицах N, однако, фиксируется лишь один максимум ОБП для фитопланктона F1, который, как и в единицах Р и Si, приходится на апрель (0.30 г N/(м³ мес.)) (рис. 44).

В районе 3 для фитопланктона F1 в единицах Р и Si в течение года формируются по одному максимуму ОБП, которые в единицах Р приходятся на период ноябрь–декабрь (0.27–0.18 г Р/(м³ мес.)) (рис. 45), а в единицах Si – на ноябрь (2.00 г Si/(м³ мес.)) при повышенных значениях в октябре (0.90) и декабре (0.79 г Si/(м³ мес.)) (рис. 46). В единицах N, между тем, четко выделяется начальный период с повышенными значениями ОБП, снижающимися от января к марту от 0.25 до 0.10 г N/(м³ мес.), и декабрь месяц – период с повышенным в сравнении с предыдущими месяцами значением ОБП (0.1 г N/(м³ мес.)) (рис. 44).

Изменения в течение года значений ОБП для фитопланктона F2 в единицах N и Р очень похожи для районов 1 и 2, а в районе 3 по ним имеются отличия. Так, в районе 1 для фитопланктона F2 в течение года формируются в единицах N и Р по одному максимуму ОБП, которые приходятся на май (соответственно 0.42 г N/(м³ мес.) и 0.13 г Р/(м³ мес.)) (рис. 47 и 48), в районе 2 повышенные значения ОБП в единицах N и Р отмечаются в апреле–мае и составляют соответственно 0.23–0.16 г N/(м³ мес.) и 0.04–0.05 г Р/(м³ мес.), а в районе 3 значения ОБП для фитопланктона F2 в единицах N повышены в январе (0.33 г N/(м³ мес.)) и ноябре–декабре (0.23–0.33 г N/(м³ мес.)). В единицах Р, однако, в районе 3 значения ОБП для F2 повышены только в ноябре–декабре (0.08–0.11 г Р/(м³ мес.)).

Для фитопланктона F3 годовой ход значений ОБП в единицах N и P в районах 1–3 обнаруживает очень похожее распределение: в районе 1 наибольшие их значения приходится на период июнь–октябрь с колебаниями в пределах 0.058–0.021 г N/(м³ мес.) и 0.013–0.008 г P/(м³ мес.), в районе 2 повышенные значения ОБП приходится на июнь и составляют 0.051 г N/(м³ мес.) и 0.008 г P/(м³ мес.), а в районе 3 повышенные значения ОБП приходится на период сентябрь–октябрь – 0.190–0.185 г N/(м³ мес.) и 0.060–0.062 г P/(м³ мес.) (рис. 49 и 50).

Для зоопланктона Z1 **распределение в течение года значений ОБП в районах 1–3** в единицах N, P и Si имеет свои специфические особенности (рис. 51–53). Так, в районе 1 для зоопланктона Z1 в единицах N, P и Si в течение года формируются по два максимума ОБП: первый максимум в единицах N приходится на июнь–июль (0.468–0.319 г N/(м³ мес.)), а второй – на октябрь–ноябрь (0.085–0.089 г N/(м³ мес.)) (рис. 51), в единицах P эти максимумы отмечены в июле (0.028 г P/(м³ мес.)) и октябре–ноябре (по 0.019 г Si/(м³ мес.)) (рис. 52), а в единицах Si – на май–июль (соответственно 0.736, 1.835 и 0.964 г Si/(м³ мес.)) и октябрь–ноябрь (0.563 и 0.320 г Si/(м³ мес.)) (рис. 53).

В районе 2 для зоопланктона Z1 в течение года выделяются по два максимума ОБП в единицах P и Si, а в единицах N – один максимум ОБП. В единицах N первый максимум ОБП зоопланктона Z1 приходится на май–июль (соответственно 0.143, 0.164 и 0.084 г N/(м³ мес.)), а второй – на ноябрь–декабрь (0.061 и 0.047 г N/(м³ мес.)) (рис. 51). В единицах Si первый и второй максимумы ОБП зоопланктона Z1 приходится соответственно на май–июнь (0.945 и 0.746 г Si/(м³ мес.)) и на октябрь–ноябрь (0.348 и 0.327 г Si/(м³ мес.)) (рис. 53). В единицах P повышенные значения ОБП в этом районе приходится на ноябрь и декабрь (0.005 и 0.004 г P/(м³ мес.)) (рис. 52).

В районе 3 для зоопланктона Z1 в единицах N и Si в течение года формируются по два выраженных периода повышенных значений ОБП: первый максимум приходится на апрель–май (0.428–0.522 г N/(м³ мес.) и 1.485–1.396 г Si/(м³ мес.)), а второй – на ноябрь–декабрь (0.603–0.882 г N/(м³ мес.) и 1.829–2.332 г Si/(м³ мес.)) (рис. 51, 53). В единицах P в этом районе образуется только период повышенных значений ОБП – в ноябре–декабре (0.150–0.281 г P/(м³ мес.)) (рис. 52).

Для зоопланктона Z2 для районов 1 и 2 изменения в течение года значений ОБП в единицах N и P имеют сходные черты, а в районе 3 по ним имеются существенные отличия. Так, в районе 1 в течение года формируются в единицах N и P по одному максимуму ОБП, которые приходится соответственно на июнь–июль (соответственно 0.251–0.428 г N/(м³ мес.)) и на июль–август (0.046–0.029 г P/(м³ мес.)), в районе 2 повышенные значения ОБП в единицах N и P отмечаются соответственно в июне (0.573 г N/(м³ мес.) и в июне–июле (0.017–0.032 г P/(м³ мес.)) (рис. 54, 55).

В районе 3 значения ОБП для зоопланктона Z2 повышены дважды в году. В единицах N они повышены в июне (0.549 г N/(м³ мес.)) и октябре–ноябре (0.182–0.154 г N/(м³ мес.)) (рис. 54), а в единицах P – в июне–июле (0.022–0.023 г P/(м³ мес.)) и октябре–ноябре (0.068–0.061 г P/(м³ мес.)) (рис. 55).

Для NF-окисляющих бактерий B4 повышенные значения ОБП в районе 1 формируются в августе (0.600 г C/(м³ мес.)) и октябре–ноябре (1.16 и 0.56 г C/(м³ мес.)), в районе 2 – в июле (0.59 г C/(м³ мес.)) и октябре–ноябре (0.68 и 0.43 г C/(м³ мес.)), а в районе 3 – в июне–июле (1.10 и 0.61 г C/(м³ мес.)) и ноябре–декабре (1.88 и 1.40 г C/(м³ мес.)) (рис. 56).

Следует отметить, что в целом значения ОБП гидробионтов, выраженные в разных элементах (C, N, P и Si), для отдельных месяцев выше в районе 3 по сравнению с районами 1 и 2.

Расчетные значения ОБП гидробионтов для каждого месяца пересчитывались в итоговую продукцию для каждого месяца с учетом толщины верхнего (деятельного) слоя и объема вод в этом слое; после этого значения для каждого месяца суммировали и таким образом оценивалась годовая продукция для каждой группы гидробионтов в тыс. т (в единицах C, Si, N и P). Расчетные годовые значения ОБП гидробионтов для районов 1–3 приведены в знаменателе в табл. 4.5.1.

Таблица 4.5.1

Рассчитанные с помощью гидроэкологической модели годовые значения биопродуктивности микроорганизмов в поверхностном слое в районах 1–3 в Татарском прол.

Микроорга- низмы	Размерность	1	2	3
B1C	$\frac{\text{г C}}{\text{м}^3}$ тыс. т C	$\frac{12.804}{18512.20}$	$\frac{13.148}{24299.25}$	$\frac{20.153}{50471.38}$
B1Si	$\frac{\text{г Si}}{\text{м}^3}$ тыс. т Si	$\frac{4.396}{7391.27}$	$\frac{4.856}{8517.49}$	$\frac{9.594}{27436.65}$
B1N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{2.106}{1766.88}$	$\frac{1.522}{1424.75}$	$\frac{3.383}{8520.35}$
B1P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т P	$\frac{1.378}{2629.79}$	$\frac{0.909}{1686.64}$	$\frac{3.325}{9107.60}$
F1Si	$\frac{\text{г Si}}{\text{м}^3}$ тыс. т Si	$\frac{2.902}{6234.20}$	$\frac{1.669}{3735.21}$	$\frac{4.518}{13310.07}$
F1N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{0.609}{326.20}$	$\frac{0.495}{1077.87}$	$\frac{0.649}{1669.54}$
F1P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т P	$\frac{0.297}{868.43}$	$\frac{0.234}{583.54}$	$\frac{0.588}{1959.32}$
F2N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{0.641}{667.35}$	$\frac{0.511}{830.14}$	$\frac{1.327}{3623.71}$
F2P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т P	$\frac{0.221}{253.32}$	$\frac{0.144}{230.02}$	$\frac{0.367}{1009.72}$
F3N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{0.204}{267.23}$	$\frac{0.132}{98.84}$	$\frac{0.615}{976.09}$
F3P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т P	$\frac{0.053}{77.10}$	$\frac{0.030}{29.34}$	$\frac{0.194}{323.93}$
Z1Si	$\frac{\text{г Si}}{\text{м}^3}$ тыс. т Si	$\frac{4.854}{5922.28}$	$\frac{3.158}{3923.15}$	$\frac{9.768}{23223.11}$
Z1N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{1.099}{1418.33}$	$\frac{0.595}{720.57}$	$\frac{3.037}{7544.63}$
Z1P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т P	$\frac{0.096}{184.24}$	$\frac{0.017}{41.23}$	$\frac{0.572}{1742.70}$
Z2N	$\frac{\text{г N}}{\text{м}^3}$ тыс. т N	$\frac{0.849}{984.43}$	$\frac{0.852}{572.37}$	$\frac{1.171}{1495.40}$
Z2P	$\frac{\text{г P}}{\text{м}^3}$ тыс. т	$\frac{0.110}{1414.57}$	$\frac{0.087}{91.26}$	$\frac{0.239}{483.64}$

Значения годовой ОБП (на единицу объема вод) для микроорганизмов выше в районе 3, а в районе 2 – в целом ниже, как и значения внутренних потоков БВ.

Исключение – значение БП для В1С (ОБП_{В1С}), которое в районе 2 выше, чем в районе 1. Полученное распределение значений продукции микроорганизмов регулируется факторами среды и условиями внутреннего круговорота БВ. Эти условия в целом и определяют режим формирования биомасс микроорганизмов, их активность в трансформации БВ и в осуществлении непрерывного круговорота БВ в морской среде.

Весовые отношения годовых значений биопродукции (в единицах С, Si, N, P) в разных акваториях в целом меняются довольно значительно. Отличия дают основание предполагать, что условия формирования биомасс микроорганизмов в исследованных районах не равнозначны. Так, в районах 1–3 соотношение продукции бактерий в единицах С, Si, N и P составляет: ОБП_{В1С} : ОБП_{В1Si} : ОБП_{В1N} : ОБП_{В1P} = (6.1–14.5) : (2.9–5.3) : (1.0–1.7) : 1. Различия в соотношениях продукции ОБП_{В1} вызваны разными условиями обеспечения В1 субстратами питания – DOC, Si, формами N (DON, ND) и P (DOP и PD).

Для фитопланктона F1 соотношение годовой продукции в единицах Si, N и P в районах 1 составляет: ОБП_{F1Si} : ОБП_{F1N} : ОБП_{F1P} = 9.8 : 2.1 : 1, а в районах 2 и 3 – (7.1–7.7) : (1.1–2.1) : 1. В целом соотношения свидетельствуют об очевидном отличии в условиях круговорота запасов минеральных БВ в районах 1–3. Это подтверждают соотношения оцененных значений продукции биомасс трех групп фитопланктона (первичная продукция) в единицах N и P в районах 1–3, которые для отдельных групп составляют: ОБП_{F1N} : ОБП_{F1P} = (2.1–3.8) : 1, ОБП_{F2N} : ОБП_{F2P} = (2.1–4.4) : 1, ОБП_{F3N} : ОБП_{F3P} = (1.1–3.6) : 1, а в сумме (ОБП_{F1N} + ОБП_{F2N} + ОБП_{F3N}) : (ОБП_{F1P} + ОБП_{F2P} + ОБП_{F3P}) = (2.3–4.0) : 1. Также отличаются в исследованных районах соотношения продукции зоопланктона, Z1 и Z2, в единицах N и P – ОБП_{Z1N} : ОБП_{Z1P} = (3.5–11.5) : 1, ОБП_{Z2N} : ОБП_{Z2P} = (7.7–9.8) : 1 и суммарной их продукции – (ОБП_{Z1N} + ОБП_{Z2N}) : (ОБП_{Z1P} + ОБП_{Z2P}) = (5.2–14.1) : 1.

В районах 1–3 отношение годовой продукции бактерий к первичной продукции в единицах N составляет соответственно 1.4 : 1, 0.9 : 1 и 1.3 : 1, а в единицах P – 2.4 : 1, 2.2 : 1 и 2.8 : 1. Для районов 1–3 отношения годовой первичной продукции, ОБП_{F1} + ОБП_{F2} + ОБП_{F3}, к годовой продукции зоопланктона, ОБП_{Z1} + ОБП_{Z2}, составляют соответственно в единицах N – 0.75, 1.12 и 0.62, а в единицах P – 2.77, 3.92 и 1.42. Оцененные по результатам моделирования соотношения значений продукции микроорганизмов – следствие отличий во влиянии факторов среды, условий формирования биогенной нагрузки и круговорота БВ в районах 1–3 Татарского прол.

Таким образом, в Японском море в развитии фитопланктона наблюдаются в течение года два максимума продукции – весенний (март–май) и осенний (октябрь–декабрь), в южной части моря они фиксируются раньше, а в северной (Татарский прол.) позже [Звалинский и др., 2006]. Полученные по результатам моделирования наибольшие в течение года значения продукции фитопланктона приходятся также на указанные месяцы.

Сравним вычисленные по результатам моделирования (на основе потоков БВ) значения ОБП_{F1}, ОБП_{F2} и ОБП_{F3} с имеющимися в литературе оценками. Для июня измеренные значения продукции фитопланктона ОБП_{ΣF} составили для центральной части Японского моря 0.3–0.4 г С/(м² сут), для восточного и западного побережий – 0.5–0.8 г С/(м² сут) [Сорокин, 1974]. Вычисленные для районов 1–3 значения ОБП_{F1N} составили соответственно 0.0542, 0.0162 и 0.0098 г N/(м³ мес.), ОБП_{F2N} – 0.0879, 0.0478 и 0.0263 г N/(м³ мес.) и ОБП_{F3N} – 0.0541, 0.0497 и 0.0284 г N/(м³ мес.). Проведем пересчет этих значений в единицы С. Для этого воспользуемся стехиометрическим атомным соотношением

C:Si:N:P = 106:23:16:1 для морского фитопланктона. Указанные значения ОБП для каждой группы фитопланктона умножаем на 106 и 12 (молекулярный вес C) и делим на 16, 14 (молекулярный вес N) и 30 (число дней в июне). Полученные значения умножаем на толщину верхнего слоя в июне – 20 м. В итоге получаем для районов 1–3 значения ОБП_{F1} – 0.2052, 0.0613 и 0.0871 г C/(м² сут), ОБП_{F2} – 0.3328, 0.1810 и 0.0996 г C/(м² сут) и ОБП_{F3} – 0.2048, 0.1882 и 0.1075 г C/(м² сут). По этим данным пересчитанные в единицы C значения ОБП_{ΣF} для районов 1–3 составляют для июня 0.7428, 0.4305 и 0.2442 г C/(м² сут), что соответствует приведенным выше экспериментальным оценкам.

Для мая, когда отмечается благоприятное сочетание влияющих на первичную продукцию факторов, измеренные значения ОБП_{ΣF} в Японском море составляют по результатам измерений > 3.5 г C/(м² сут) [Звалинский и др., 2007]. Для районов 1–3 вычисленные для мая в данном исследовании значения ОБП_{F1N} составили соответственно 0.4577, 0.0620 и 0.0291 г N/(м³ мес.), ОБП_{F2N} – 0.3940, 0.1545 и 0.0596 г N/(м³ мес.) и ОБП_{F3N} – 0.0012, 0.0224 и 0.0036 г N/(м³ мес.), а их пересчет позволяет получить следующие значения для районов 1–3: ОБП_{F1} – 1.0480, 0.9022 и 0.1239 г C/(м² сут), ОБП_{F2} – 0.1420, 0.3538 и 0.0513 г C/(м² сут) и ОБП_{F3} – 0.0666, 0.1365 и 0.1075 г C/(м² сут). Таким образом, суммарные значения ОБП_{ΣF} для районов 1–3 для мая составляют 2.0741, 0.5471 и 0.2113 г C/(м² сут), а в целом для акватории Татарского прол. – 2.8325 г C/(м² сут), что практически совпадает с экспериментальной оценкой для мая [Звалинский и др., 2007].

В октябре–ноябре 2000 г. измеренные значения ОБП_{ΣF} для северо-западной части Японского моря составляли 0.120–0.520 г C/(м² сут) [Звалинский и др., 2006]. Полученные по результатам моделирования для указанного периода и пересчитанные в единицы C значения ОБП_{ΣF} для районов 1–3 составили 0.385, 0.106 и 1.800 г C/(м² сут) соответственно. Эти оценки показывают, что вследствие различий в условиях трансформации БВ в районе 3 значения ОБП_{ΣF} в отдельные месяцы могут в шесть–десять раз отличаться от таковых в районах 1 и 2. В целом для Татарского прол. измеренные значения ОБП_{ΣF} находятся в пределах 0.2–0.75 г C/(м² сут) [Звалинский и др., 2006].

Для сравнения с этими оценками расчетные годовые значения ОБП_{F1N}, ОБП_{F2N} и ОБП_{F3N} (табл. 4.5.1) были пересчитаны в единицы C и с учетом толщины слоя фотосинтеза 20 м были получены значения ОБП_{ΣF} для районов 1–3 – соответственно 0.4641, 0.3539 и 0.8058 г C/(м² сут), которые близки к экспериментальным оценкам. Близость вычисленных по внутренним потокам БВ значений ОБП_{ΣF} с экспериментальными оценками свидетельствует о надежном количественном воспроизведении моделью биогидрохимических взаимодействий, характерных для изучаемого района Японского моря.

Значения годовой ОБП микроорганизмов, вычисленные на единицу объема вод, переводились в суммарные значения продукции (в тыс. т – по C, Si, N и P) для каждого района, учитывая ежемесячные изменения объемов вод поверхностного слоя в этих районах. Объем вод района 2 выше других, поэтому значения продукции микроорганизмов получились по всем показателям выше именно в этом районе. Для районов 1 и 3 нет соответствия в значениях ОБП, вычисляемых в единицах N и P. Это происходит потому, что в единицах N наибольшие значения ОБП приходятся на месяцы, когда толщина верхнего слоя небольшая, а в единицах P, как правило, на конец осени, когда толщина прогретого слоя наибольшая. Следовательно, итоговые значения ОБП в единицах P могут быть выше значений ОБП, оцененных в единицах N (табл. 4.5.1).

4.6. Построение графиков по расчетной информации из блока «ПОТОКИ»

В блок «ПОТОКИ» включены значения расчетных потоков по разным каналам трансформации веществ для всех переменных модели и исследованных акваторий (потоки считаются для каждого шага времени, а при построении графика выполняются обработка информации и расчет значений потоков для каждого месяца с учетом числа дней в месяце и за год).

Для районов 1–3 Татарского прол. из блока «ПОТОКИ» представлены две серии графиков (1 – для потребляемых гидробионтами субстратов в единицах N, P, Si и C; и 2 – для образуемого гидробионтами детрита в единицах N, P и Si). Эти две серии – важнейшие среди всех внутренних потоков вещества в водных экосистемах: потребление БВ определяет условия формирования биомасс гидробионтов, а отмирание биомассы – важнейший канал круговорота БВ, в результате которого образуется детрит (при его окислительной трансформации пополняется в воде запас органических компонентов БВ).

В целом расчетные значения потоков БВ позволяют оценить роль внутренних процессов в трансформации БВ при осуществлении микроорганизмами метаболических процессов – потребления субстратов питания, выделения продуктов обмена веществ в водную среду, образования детрита и выедания бактерий B1, фитопланктона (F1, F2 и F3) и растительноядного зоопланктона Z1 хищным зоопланктоном Z2. Интенсивность указанных процессов в течение года определяет условия круговорота веществ, она меняется в соответствии с изменением условий среды обитания. Поэтому данные по значениям потоков, представленные в указанных двух сериях графиков (для потребления веществ и образования детрита гидробионтами), для каждого месяца внутри расчетного года позволяют оценивать и сравнивать значения потоков для разных месяцев и изучаемых районов 1–3 Татарского прол.

Первая серия иллюстрирует изменения для каждого месяца значений потребления форм N, P, Si и C гидробионтами, а также NF-бактериями B4. Эти графические иллюстрации расположены в следующих директориях:

– «Потребление N биотой»: Uptake_N_1-3_B1N (рис. 57), Uptake_N_1-3_F1N (рис. 58), Uptake_N_1-3_F2N (рис. 59), Uptake_N_1-3_F3N (рис. 60), Uptake_N_1-3_Z1N (рис. 61), Uptake_N_1-3_Z2N (рис. 62);

«Потребление P биотой»: Uptake_P_1-3_B1P (рис. 63), Uptake_P_1-3_F1P (рис. 64), Uptake_P_1-3_F2P (рис. 65), Uptake_P_1-3_F3P (рис. 66), Uptake_P_1-3_Z1P (рис. 67), Uptake_P_1-3_Z2P (рис. 68);

«Потребление Si биотой»: Uptake_Si_1-3_B1Si (рис. 69), Uptake_Si_1-3_F1Si (рис. 70), Uptake_Si_1-3_Z1Si (рис. 71);

«Потребление C биотой»: Uptake_C_1-3_B1C (рис. 72);

«Потребление NF биотой»: Uptake_NF_1-3_B4C (рис. 73).

Гетеротрофные бактерии B1 в районах 1–3 за год потребляют в форме DOC соответственно 6.423, 6.632 и 10.251 г C/(м³ год); наибольшее потребление DOC в районах 1–3 приходится соответственно на май (2.928 мг C/(м³ мес.)), апрель–май (2.480–1.228) и ноябрь–декабрь (1.929–1.944 мг C/(м³ мес.)) (рис. 72).

Потребление бактериями B1 форм N составляет в районах 1–3 соответственно 1.954, 0.762 и 1.742 г N/(м³ год) (в форме DON – 53.9, 62.7 и 68.7 % и в форме ND – 46.1, 37.3 и 31.3 % соответственно). Наибольшее потребление ими форм N в районе 1 приходится на май (0.609 мг N/(м³ мес.)), в райо-

не 2 – на апрель–июнь (0.196; 0.317 и 0.145 мг N/(м³ мес.)) и в районе 3 – на январь–март (0.192–0.227 мг N/(м³ мес.)) и ноябрь–декабрь (0.197–0.390 мг N/(м³ мес.)) (рис. 57).

Бактерии B1 в районах 1–3 потребляют за год соответственно 0.695, 0.467 и 1.716 г P/(м³ год) (в форме DOP – 36.1, 39.0 и 37.9 % и в форме PD – 63.9, 61.0 и 62.1 %). Наибольшее потребление ими форм P в районе 1 приходится на май–июнь (0.132–0.114 мг P/(м³ мес.)) и ноябрь (0.142 мг P/(м³ мес.)), в районе 2 – на май–июнь (0.081–0.067 мг P/(м³ мес.)) и ноябрь–декабрь (0.078–0.076 мг P/(м³ мес.)) и в районе 3 – на ноябрь–декабрь (0.398–0.535 мг P/(м³ мес.)) (рис. 63).

Потребление бактериями B1 форм Si в районах 1–3 составляет соответственно 2.208, 2.452 и 4.882 мг Si/(м³ год). Наибольшее потребление ими форм Si в районе 1 происходит в мае и ноябре (0.719 и 0.387 мг Si/(м³ мес.)), в районе 2 – в мае–июне (0.729–0.543 мг Si/(м³ мес.)) и в районе 3 – в январе (0.733 мг Si/(м³ мес.)) и ноябре–декабре (0.909–0.962 мг Si/(м³ мес.)) (рис. 69).

Соотношение количеств субстратов C : Si : N : P, потребляемых B1 за год в районах 1–3, составляет соответственно 9.2:3.2:1.5:1, 14.3:5.3:1.6:1 и 6.0:2.8:1.0:1. За год на окислительные процессы с участием B1 в этих районах расходуется растворенный O₂ в количестве 4.118, 4.232 и 6.511 г O₂/(м³ год).

В районе 1 наибольшее потребление DOC, DON и DOP бактериями B1 происходит в мае – 2.928, 0.284 и 0.061 г/(м³ мес.) соответственно в единицах C, N и P. В районе 2 наибольшие значения бактериального потребления бактериями DOC приходятся на апрель (2.478 г C/(м³ мес.)), DON – на апрель–май (0.135–0.156 г N/(м³ мес.)) и DOP – на апрель–июнь (0.023–0.034) и август–декабрь (0.016–0.021 г P/(м³ мес.)). В районе 3 повышенные значения потребления DOC бактериями отмечаются в феврале–марте (0.670–0.673 г C/(м³ мес.)), а также в сентябре–декабре (0.906–1.943 г C/(м³ мес.)). Для января–марта и октября–декабря характерны высокие количества потребляемого бактериями DON (соответственно 0.067–0.137 и 0.088–0.308 г N/(м³ мес.)), а также DOP (0.022–0.032 и 0.094–0.149 г P/(м³ мес.)).

Суммарное годовое потребление DOP бактериями B1 в районах 1–3 составляет соответственно 0.251, 0.182 и 0.649 г P/(м³ год), и эти количества превышают принятые для этих районов начальные концентрации в 6.8, 4.9 и 17.6 раза (в среднем для Татарского прол. – 9.8). Эта оценка не противоречит выводу [Аржанова, 1982], что в морях высоких и умеренных широт это превышение может достигать 12.5 раза и оно обусловлено регенерацией БВ.

Потребление ND бактериями B1 наибольшее в районах 1–2 соответственно в мае (0.324 г N/(м³ мес.)) и в апреле–июне (0.054–0.161), а в районе 3 – в январе–апреле (0.067–0.135) и в декабре (0.082 г N/(м³ мес.)). Наибольшее потребление PD бактериями B1 в районе 1 приходится на май–июль (0.055–0.088) и октябрь–ноябрь (0.050–0.103 г P/(м³ мес.)), в районе 2 – на май–июнь (0.044–0.047) и на ноябрь–декабрь (0.059–0.060 г P/(м³ мес.)), в районе 3 – на март–май (0.053–0.065) и октябрь–декабрь (0.111–0.394 г P/(м³ мес.)).

Суммарное потребление минерального N, N_{min} сообществом фитопланктона (F1 + F2 + F3) в районах 1–3 составляет 0.739, 0.571 и 1.290 г N/(м³ год) (рис. 58–60). Доля потребляемого N_{min} каждой группой фитопланктона в районе 1 составляет 41.3, 44.8 и 13.9 %, в районе 2 – 43.3, 45.2 и 11.6 %, в районе 3 – 25.5, 50.4 и 24.0 % соответственно. NH₄ и NO₃ – основные минеральные фракции N, потребляемые сообществом фитопланктона. В районах 1–3 потребление фитопланктоном NH₄ составляет 0.388, 0.302 и 0.643 г N/(м³ год) соот-

ветственно. Доля F_1 в потреблении NH_4 в районах 1–3 составляет 34.0, 29.5 и 14.9 %, F_2 – 45.4, 41.4 и 51.9 %, а F_3 – 20.6, 19.2 и 18.2 % соответственно.

Наибольшее потребление NH_4 фитопланктоном F_1 в районах 1 и 2 приходится соответственно на май (0.092) и апрель–май (0.022–0.036) г N/(м³ мес.), а в районе 3 – на январь–март (0.035–0.048) и декабрь (0.032) г N/(м³ мес.). У F_2 наибольшее потребление NH_4 в районах 1–2 происходит в мае (0.089 и 0.048), а в районе 3 – в январе (0.043) и ноябре–декабре (0.060–0.100) г N/(м³ мес.). Наибольшее потребление NH_4 фитопланктоном F_3 в районах 1–2 отмечается в июне (0.028 и 0.021), а в районе 3 – в июне (0.017) и октябре (0.027) г N/(м³ мес.).

Потребление NO_3 сообществом фитопланктона в районах 1–3 составляет 0.286, 0.231 и 0.501 г N/(м³ год) соответственно. На долю F_1 в районах 1–3 приходится 53.5, 58.9 и 21.6 % общего потребления NO_3 . Доли F_2 и F_3 в общем потреблении NO_3 в районах 1–3 составляют 40.6, 39.8, 44.3 и 5.9, 1.3, 34.1 % соответственно. Наибольшие значения в потреблении NO_3 фитопланктоном F_1 в районах 1 и 2 приходятся соответственно на май и апрель (0.119 и 0.097 г N/(м³ мес.)), в районе 3 – на январь–февраль (0.021–0.058) и декабрь (0.017 г N/(м³ мес.)). Для F_2 наибольшее потребление NO_3 в районах 1 и 2 также приходится на май и апрель (0.088 и 0.068 г N/(м³ мес.)), а в районе 3 – на январь (0.053) и октябрь–декабрь (0.035–0.049 г N/(м³ мес.)). В сравнении с F_1 и F_2 потребление NO_3 фитопланктоном F_3 ниже на порядок. Наибольшее потребление NO_3 фитопланктоном F_3 приходится в районах 1–3 соответственно на июнь–октябрь (0.002–0.005), август–октябрь (0.001) и на сентябрь–октябрь (0.058–0.71) г P/(м³ мес.).

Суммарное потребление ΣP (DIP+DOP) сообществом фитопланктона в районах 1–3 составляет соответственно 0.289, 0.206 и 0.582 г P/(м³ год) (рис. 64–66), причем в форме DIP потребляется в указанных районах 81.0, 72.3 и 94.2 % и в форме DOP – 19.0, 27.7 и 5.8 %. От общего потребления DIP на долю F_1 приходится 55.6, 67.8 и 52.7 %, F_2 – 34.2, 37.6 и 30.8 % и F_3 – 10.3, 8.1 и 16.4 % соответственно в районах 1–3. Доля потребляемого DOP для F_1 от общего его потребления составляет 34.5, 31.6 и 20.6 %, F_2 – 61.8, 63.2 и 55.9 % и F_3 – 4.0, 5.3 и 2.4 % соответственно в районах 1–3.

Наибольшее потребление DIP фитопланктоном F_1 в районе 1 приходится на май (0.005) и на октябрь–ноябрь (0.046–0.054), а DOP – на ноябрь–декабрь (0.007–0.010) г P/(м³ мес.). В районе 2 повышенное потребление DIP фитопланктоном F_1 приходится на апрель (0.010) и на октябрь–декабрь (0.021–0.027) г P/(м³ мес.), а DOP – также на октябрь–декабрь (0.001–0.005) г P/(м³ мес.). В районе 3 повышенные значения в потреблении DIP фитопланктоном F_1 приходятся на январь–апрель (0.007–0.011) и на ноябрь–декабрь (0.083–0.139) г P/(м³ мес.), а потребление DOP существенно ниже, и значимое его потребление отмечается в январе–феврале (~ 0.002) и в ноябре–декабре (0.001–0.002) г P/(м³ мес.).

У фитопланктона F_2 наибольшее потребление DIP в районе 1 происходит в мае (0.042), в районе 2 – в апреле–мае (0.010), в районе 3 – в январе–мае (0.004–0.009) и в октябре–декабре (0.023–0.051) г P/(м³ мес.). Количество DOP, потребляемого фитопланктоном F_2 , в районе 1 наибольшее в мае (0.023), в районе 2 – в апреле–мае (0.010–0.017) и в районе 3 – в январе (0.008) г P/(м³ мес.).

У фитопланктона F_3 повышенное потребление DIP в районах 1–2 приходится соответственно на июнь–сентябрь (0.005–0.006 и 0.002–0.003), а в районе 3 – на сентябрь–ноябрь (0.012–0.030) г P/(м³ мес.). Потребление DOP фитопланктоном F_3 в районах 1–3 в отдельные месяцы существенно ниже в сравнении с потреблением DIP.

Потребление DISi диатомовыми водорослями F1 в районах 1–3 составляет 0.979, 0.607 и 1.706 г Si/(м³ год) (рис. 74). Соотношение потребляемых $N_{\min} : \Sigma P$ сообществом фитопланктона составляет 2.6:1, 2.8:1 и 2.2:1 для районов 1–3 соответственно. Для диатомовых водорослей отношение потребленных ими $\text{DISi} : N_{\min} : \Sigma P$ составляет 6.6:2.0: 1, 5.1:2.1:1 и 5.8:1.1:1 в районах 1–3 соответственно.

Потребление N сообществом зоопланктона, Z1 + Z2, в районах 1–3 составляет соответственно 0.937, 0.700 и 2.090 г N/(м³ год) (рис. 61–62), а P – 0.101, 0.053 и 0.412 г P/(м³ год) (рис. 67–68). Основное количество N и P потребляется зоопланктоном в форме детрита (в районах 1–3 доля потребляемого ND составляет 86.2, 86.9 и 87.6 % N и PD – 62.4, 58.5 и 69.7 % P соответственно). Остальная часть потребляемых зоопланктоном компонентов N и P приходится на биомассу бактерий B1 (в N – 0.090, 0.064 и 0.172 г N/(м³ год), в P – 0.028, 0.016 и 0.084 г P/(м³ год)) и фитопланктона, F1 + F2 + F3 (в N – 0.039, 0.028 и 0.088 г N/(м³ год), в P – 0.010, 0.006 и 0.041 г P/(м³ год) в районах 1–3). Соотношение N : P потребляемых зоопланктоном субстратов составляет 9.3 : 1, 13.2 : 1 и 5.1 : 1 в районах 1–3 соответственно.

Количество потребляемых форм N и P растительноядным Z1 и хищным Z2 зоопланктоном по районам отличается. Так, в районе 1 годовое потребление N зоопланктоном Z1 и Z2 составляет соответственно 0.549 и 0.388 г N/(м³ год), а P – 0.044 и 0.101 г P/(м³ год). Соответствующие количества потребляемых указанными формами зоопланктона N в районе 2 составляют 0.299 и 0.401 г N/(м³ год), P – 0.011 и 0.042 г P/(м³ год), а в районе 3 – 1.544 и 0.546 г N/(м³ год) и P – 0.272 и 0.140 г P/(м³ год).

Потребление ND зоопланктоном Z1 в районах 1 наибольшее в июне–июле (0.128–0.218), в районе 2 – в мае–июне (0.067–0.071), в районе 3 – в апреле–мае (0.215–0.237) и в ноябре–декабре (0.276–0.396) г N/(м³ мес.). Наибольшее в течение года потребление PD зоопланктоном Z1 приходится практически на те же месяцы, но есть и отличия. В районе 1 оно фиксируется в июле (0.011) и в октябре–ноябре (0.006), в районе 2 – в ноябре–декабре (0.002) и в районе 3 – в мае–июне (0.011–0.015) и в октябре–декабре (0.014–0.110) г P/(м³ мес.).

У зоопланктона Z2 наибольшее потребление ND в районе 1 происходит в июне–июле (0.138–0.169), а в районах 2 и 3 – в июне (соответственно 0.256 и 0.251) г N/(м³ мес.). Потребление PD в районах 1 и 2 наибольшее в июле (соответственно 0.014 и 0.009), а в районе 3 – в июне–июле (0.007–0.009) и в октябре–ноябре (0.018–0.021) г P/(м³ мес.).

Ежемесячное потребление NF (ПНУ) бактериями B4, характеризующее скорость их бактериального разложения в поверхностном слое, показано для районов 1–3 на рис. 73. Оно объясняет, сколько разлагается NF и как активно развивается этот процесс в водной среде в районах 1–3. По два повышенных значения ПНУ бактериями B4 соответствуют по времени значениям повышенных биомасс B4 в этих районах (рис. 23). В январе–апреле в водной среде практически не происходит потребления NF бактериями B4 из-за низких температур воды (в районе 1 среднемесячные их значения меняются в диапазоне $-0.2 \div 0.8$ °C, в районе 2 – $0.3 \div 2.1$ °C и в районе 3 – $1.4 \div 3.2$ °C). Основное количество NF потребляется бактериями B4 в районе 1 в июле–ноябре (средняя температура воды в указанные месяцы здесь составляет 9.1, 12.4, 13.2, 6.5 и 1.9 °C соответственно), а в районах 2 и 3 – в июне–декабре (8.7–9.4, 10.5–11.9, 13.5–15.0, 11.2–12.9, 8.2–9.5, 3.6–4.9, 2.4–3.4 °C). Также в районах 1 и 2–3 выделяются летом периоды пониженной активности бактерий B4 в отношении ПНУ – соответственно в августе и в августе–сентябре (в большей степени это выражено в районе 3), когда в воде снижается биомасса бактерий B4 (рис. 23).

По среднемесячным значениям температуры воды и оцененным для каждого месяца величинам ПНУ бактериями В4 в районах 1–3 выделены четыре главные тенденции изменения скорости ПНУ: от мая к июлю–августу, далее к августу–сентябрю, затем к октябрю–ноябрю и к декабрю. Только возрастание температуры воды от мая к июлю–августу в целом способствует увеличению активности бактерий В4. Это увеличение может быть более значимым в отношении потребления NF бактериями В4 при большей скорости поступления NF в воды пролива (например, как в июне в районе 3). Дальнейшее в течение года возрастание температуры воды не приводит к повышению активности В4, и в последующие месяцы она регулируется не значениями температуры воды (она остается сравнительно высокой), а скоростями поступления NF в воды пролива, значениями биомассы В4 и концентраций NF в воде, а также соотношением биомасса В4 / концентрация NF. Уже в августе (районы 2 и 3)–сентябре (районы 1 и 3) следует снижение значений ПНУ, когда биомассы бактерий В4 в водах указанных районов минимальны, а содержание NF повышено (достигает 1–4 ПДК). Далее в октябре происходит в целом снижение температуры воды, а активность В4 (или скорость ПНУ) возрастает. Наивысшие скорости ПНУ бактериями В4 отмечены в октябре (район 1) и ноябре–декабре (район 3) при сравнительно небольших температурах (соответственно 6.5 и 4.9–3.4 °C) и скоростях поступления NF в эти районы 0.093 и 0.090–0.077 мг NF/(л мес.).

В районах 1 и 3 для указанных месяцев отмечены в целом повышенные соотношения биомасса В4 / концентрация NF: в районе 1 в октябре они достигали значений 4.33–6.09, а в районе 3 в ноябре–декабре – 6.91–8.60. В ноябре–декабре скорости ПНУ бактериями В4 остаются высокими, показывая уменьшение активности В4 к концу года, что в целом соответствует снижению температуры воды.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что при снижении температуры воды (при переходе от лета к осени и далее к зиме) и при достаточном поступлении в водную среду NF потенциал окислительной активности бактерий В4 в отношении дегградации NF продолжает оставаться высоким. Это подтверждает вывод, полученный при микробиологических исследованиях акваторий северных морей, что не происходит существенного снижения NF-окисляющей активности микрофлоры при низких температурах воды (даже в зимних условиях), а также при наблюдавшихся пятикратных различиях в содержании NF. Предполагается, что для существенных изменений активности NF-окисляющих микроорганизмов необходимо присутствие высоких концентраций NF в течение более длительных промежутков времени (больше, чем несколько суток) [Ильинский, Семененко, 2001].

При равномерном распределении концентраций NF в морской среде расчетные ежемесячные потоки их потребления бактериями В4 пересчитывались за интервалы в сутки, чтобы была возможность сравнить полученные значения скоростей ПНУ с литературными данными. Наибольшее количество NF потребляется бактериями в районе 1 в октябре (0.601 мг NF/(л мес.), или 1.94×10^{-2} мг NF/(л сут)), в районе 2 – в июле и октябре (0.297–0.337 мг NF/(л мес.), или 9.58×10^{-3} – 1.09×10^{-2} мг NF/(л сут)), и в районе 3 – в июне, ноябре и декабре (0.572–0.945 мг NF/(л мес.), или $(1.91–3.14) \times 10^{-2}$ мг NF/(л сут)) (рис. 73). Всего за год в районах 1–3 бактерии В4 потребляют в поверхностном слое 1.379, 1.183 и 2.694 мг NF/л (соответственно со средними скоростями 9.01×10^{-3} , 5.53×10^{-3} и 1.26×10^{-2} мг NF/(л сут) с учетом продолжительности периода активности В4 в районах 1 и 2–3 соответственно 5 и 7 месяцев, или 153-е и 214-е сут).

Метаболические выделения микроорганизмов используются ими в качестве питательных веществ и повторно вовлекаются в оборот. С учетом условий мор-

ской среды в районах 1–3 за счет метаболических выделений В1, сообщества фитопланктона и зоопланктона за год создается в форме DON соответственно 0.020–0.046, 0.140–0.312 и 0.055–0.234 г N/(м³ год).

Минеральные компоненты БВ также образуются за счет активности микроорганизмов. Бактерии и зоопланктон выделяют в районах 1–3 в виде метаболитов DIP в количестве, равном соответственно 0.126–0.467 и 0.005–0.099 г P/(м³ год).

Метаболические выделения NH₄ бактериями, фитопланктоном и зоопланктоном составляют соответственно 0.172–0.394, 0.041–0.094 и 0.023–0.101 г N/(м³ год). За счет образующейся в процессе метаболизма микроорганизмов мочевины (один из первых продуктов разложения белковых соединений) количество выделяемого NH₄ в воде в районах 1–3 составляет 0.011–0.049 г N/(м³ год).

В районах 1–3 метаболическими выделениями В1 и фитопланктона в форме DOP образуется соответственно 0.032–0.117 и 0.099–0.280 г P/(м³ год).

Общее образование NH₄ за счет внутренней трансформации БВ в водной среде в районах 1–3 составляет 0.274–0.600 г N/(м³ год), а DIP – 0.131–0.566 г N/(м³ год). Соотношение образующихся за счет внутренней трансформации БВ минеральных компонентов NH₄ : DIP в районах 1–3 составляет 1.9:1, 2.1:1 и 1.1:1 соответственно.

При окислении NH₄ в морской среде в районах 1–3 образуется в форме нитритного N 0.021–0.060 г N/(м³ год), а при окислении NO₂ образуется 0.010–0.038 г N/(м³ год) нитратного N. На окисление NH₄ в районах 1–3 расходуется соответственно 0.204, 0.110 и 0.073 г O₂/(м³ год), а на окисление NO₂ – 0.055, 0.026 и 0.011 г O₂/(м³ год).

Вторая серия графиков показывает интенсивность ежемесячного образования детрита гидробионтами в единицах N, P и Si для районов 1–3 Татарского прол. Эти иллюстрации представлены в следующих директориях:

– «Детрит N биоты»: DetrN_1-3_B1N (рис. 74), DetrN_1-3_F1N (рис. 75), DetrN_1-3_F2N (рис. 76), DetrN_1-3_F3N (рис. 77), DetrN_1-3_Z1N (рис. 78), DetrN_1-3_Z2N (рис. 79);

– «Детрит P биоты»: DetrP_1-3_B1P (рис. 80), DetrP_1-3_F1P (рис. 81), DetrP_1-3_F2P (рис. 82), DetrP_1-3_F3P (рис. 83), DetrP_1-3_Z1P (рис. 84), DetrP_1-3_Z2P (рис. 85);

– «Детрит Si биоты»: DetrSi_1-3_B1Si (рис. 86), DetrSi_1-3_F1Si (рис. 87), DetrSi_1-3_Z1Si (рис. 88).

За счет активности микроорганизмов в морской среде непрерывно образуется детрит. Основной вклад в образование детрита вносят бактерии и зоопланктон. Общее количество образующегося ND в указанных районах составляет соответственно 1.915, 1.383 и 3.586 г N/(м³ год) (рис. 74–79), при этом вклад бактерий оценен равным 29.1–35.3 %, фитопланктона – 22.3–24.4, зоопланктона – 42.2–48.3 %.

Количество образованного PD в районах 1–3 составляет соответственно 0.634, 0.395 и 1.496 г P/(м³ год) (рис. 80–85), причем вклад бактерий, фито- и зоопланктона составляет соответственно 64.0–66.2, 16.2–24.6 и 11.4–19.8 %.

За год в форме SiD в морской среде в районах 1–3 создается 3.586–9.288 г Si/(м³ год) (рис. 86–88) и вклад бактерий, фито- и зоопланктона оценен равным соответственно 33.3–46.2, 14.9–20.2 и 38.9–47.9 %. Соотношение Si:N:P у образованного микроорганизмами в сумме детрита меняется на участках 1–3 в пределах 7.4:3.0:1, 9.1:3.5:1, 16.1:2.4:1. Соотношение Si:N:P у детрита, образованного за год бактериями в указанных районах, составляет 3.7:1.6:1, 6.5:1.8:1, 3.6:1.1:1, фитопланктоном – 7.3:3.1:1, 5.5:3.5:1, 6.1: 3.3:1, зоопланктоном – 26.4: 9.7:1, 31.0:13.0:1, 14.8:5.9:1 соответственно.

В районах 1–3 за счет седиментации ежегодные потери PD, ND и SiD составляют соответственно 0.001–0.012 г P/(м³ год), 0.014–0.091 г N/(м³ год) и 0.046–0.512 г Si/(м³ год). Эти потери в десятки и сотни раз меньше образующегося в районах 1–3 за счет активности микроорганизмов детрита.

В районах 1–3 при разложении ND в водной среде создается основное количество DON (0.454–1.022 г N/(м³ год)), а за счет распада PD образуется 0.074–0.161 г P/(м³ год) в форме DOP.

Полученные при моделировании данные свидетельствуют о существенных отличиях в районах 1–3 условий развития микроорганизмов, потребления ими питательных веществ, выделения продуктов метаболизма и образовании детрита. Как правило, в районе 3 активность процессов биотрансформации БВ выше, чем в районах 1 и 2, а в районе 1 – выше, чем в районе 2. Однако при сравнении значений годовых потоков внутренних процессов трансформации БВ обнаруживается, что в количественном отношении есть исключения. Например, в районе 2 более интенсивно, чем в районе 1, потребляется бактериями DOC и O₂, а также развиваются процессы, связанные с участием бактерий B1 в цикле Si; в сравнении с районами 1 и 2 в районе 3 менее значимы процессы окислительной трансформации форм N (UR до NH₄, NH₄ до NO₂ и NO₂ до NO₃). Следствие таких различий в выраженности процессов биотрансформации БВ – разных условиях проявления рециклинга БВ в районах 1–3, что особенно отражается на взаимосвязях между химическими и биологическими параметрами морской среды в летне-осенний период, когда условия биотрансформации БВ наиболее благоприятны, активность биомасс наибольшая, а содержание большинства БВ в воде минимально.

Выводы по результатам анализа данных моделирования

Опыт работы с CNPSi-моделью показывает, что она может служить своеобразным аналогом водной экосистемы и использоваться в качестве инструмента для изучения характерных задач, возникающих при исследовании важнейших водно-экологических проблем (например, таких, как загрязнение водных экосистем, условия окислительной трансформации веществ в водных экосистемах, самоочищение водоемов, режимы изменчивости концентраций органических веществ и реакции водных экосистем на возрастание биогенной нагрузки, и другие).

Трансформация БВ сообществом микроорганизмов (гетеротрофными бактериями, фито- и зоопланктоном) в водах районов 1–3 Татарского прол. может изучаться с помощью имитационной гидроэкологической CNPSi-модели, так как в нее включены указанные микроорганизмы, а также органические и минеральные соединения органических элементов (C, Si, N, P) и NF. В расчетах на модели использованы среднемноголетние наблюдения за меняющимися в течение года показателями морской среды (температура, освещенность, прозрачность, глубина залегания термоклина). Значения переноса вод между районами оценивались с помощью Бергенской океанической трехмерной модели. Цель расчетов на CNPSi-модели – показать, как влияет внутригодовая изменчивость указанных показателей состояния морской среды на динамику концентраций и внутренние потоки БВ, развитие биомасс микроорганизмов и формирующиеся значения их ОБП.

Расчеты на гидрoэкологической модели были выполнены с шагом 0.01 сут методом Рунге–Кутты-4 с учетом морфометрических параметров районов 1–3, среднемноголетних параметров морской среды и показателей переноса водных масс через границы районов, концентраций БВ в атмосферной влаге, в водах Амура (поступают в северную часть Татарского прол. – район 1) и в водах Японского моря, граничащих с районами 2 и 3.

Изменения в течение года расчетных значений концентраций органических и минеральных БВ (основа формирования ОБП) и биомасс микроорганизмов свидетельствуют о том, что районы 1–3 существенно отличаются (по условиям обеспечения морской среды БВ и, соответственно, развитию процессов их биотрансформации). Однако высокая активность микроорганизмов в водной среде летом сохраняется даже при низких остаточных концентрациях БВ за счет многократной их оборачиваемости.

Результаты моделирования подтверждают отмеченный ранее в литературе факт, что концентрации БВ в поверхностном слое быстро истощаются в период цветения фитопланктона. В районах 1–3 истощение NH_4 происходит со скоростью $(1.772\text{--}9.470)\times 10^{-4}$, NO_2 – $(1.286\text{--}3.917)\times 10^{-4}$, NO_3 – $(0.905\text{--}5.179)\times 10^{-3}$ мг N/(л сут), DOP – $(1.000\text{--}4.036)\times 10^{-3}$ мг P/(л сут). Расчетами показано, что летом поверхностные воды Татарского прол. обеднены БВ (в районах 1 и 2 особенно по DIP и DISi), во вторую половину года в водах районов 1–3 концентрации NO_3 соответствуют методическому пределу обнаружения (или аналитический ноль).

Вычисленные суммарные концентрации форм биогенных элементов полезно применять при анализе внутригодовой изменчивости концентраций БВ для выявления закономерностей динамики концентраций БВ, объяснения роли сообщества микроорганизмов в поведении экосистемы и их участия в процессах трансформации БВ. Использование агрегированных форм концентраций БВ (суммарного содержания элементов в биомассах, накопления во взвешенной и растворенной формах, а также общего содержания элементов в водной среде) особенно полезно и более наглядно для объяснения особенностей динамики и последовательного преобразования одних форм БВ в другие. Анализ изменения концентраций БВ в таких формах позволяет более точно выявить последовательные стадии трансформации БВ, закономерности динамики их агрегированных форм за единицу времени, а также в течение годового цикла. Примеры такого анализа приводятся в данной работе.

В целом расчетная внутригодовая динамика значений агрегированных концентраций биогенных элементов – суммарных биомасс микроорганизмов в единицах N (SumNliv), P (SumPliv) и Si (SumSiliv), суммарных концентраций элементов во взвешенной (SumNpar, SumPpar и SumSipar) и растворенной (SumNdis, SumPdis и SumSidis) формах обнаруживает по внешнему виду определенное сходство. Однако имеются и отличия, которые проявляются в амплитудах колебаний концентраций компонентов для определенных периодов со сменой экстремальных их значений.

В годовой динамике в водах районов 1–3 выявлены разные тенденции в изменениях суммарных концентраций соединений биогенных элементов – C (TotCwat), Si (TotSiwat), N (TotNwat) и P (TotPwat). Эти тенденции определяются сбалансированностью поступления разных БВ из внешних источников, их аккумуляцией в водах районов и потерями (при седиментации взвешенных форм биогенных элементов и выносе водными массами БВ в соседние акватории). При анализе годовой динамики суммарных концентраций соединений биогенных элементов можно в районах 1–3 выделить периоды как активного изменения (снижения

или увеличения) концентраций веществ, так и практического отсутствия таких изменений с сохранением постоянства концентраций веществ (или их колебаний в незначительных пределах). Среди суммарных концентраций соединений биогенных элементов наибольшую амплитуду колебаний в течение года имеет параметр TotCwat. Анализ внутригодовых изменений в течение года суммарных концентраций соединений биогенных элементов позволяет выделить их общую тенденцию: к концу года после внутригодовых сезонных колебаний их содержание в районе 1 практически восстанавливается, в районе 2 оно, как правило, снижается, а в районе 3 – увеличивается. Возрастание суммарных концентраций биогенных элементов в водах района 3, очевидно, вызвано доминирующим в отдельные периоды года привнесом БВ из соседних районов и выраженной их аккумуляцией в водах этого района к концу года.

Характерные сезонные максимумы в развитии биомасс микроорганизмов (в единицах C, Si, N и P) формируются в районах 1–3 в разные сроки. Их значения отличаются и могут смещаться во времени (в зависимости от района и от элемента, в котором выражена биомасса). Первый максимум биомасс формируется к началу весны (определяется в основном условиями прогрева водной среды), а второй – в конце лета–начале осени (образуется вследствие круговорота БВ). Для характеристики развития биомасс микроорганизмов и их обеспеченности субстратами питания могут быть использованы дополнительные расчетные показатели (значения биомасс, удельные скорости их роста и общей биопroduкции).

Расчетные значения удельной скорости роста биомассы, k_0 , могут меняться в пределах 0–0.1, 0.1–0.2, 0.2–0.3 и > 0.3 сут⁻¹. Такие диапазоны изменчивости значений k_0 характеризуют соответственно низкую, среднюю, высокую и очень высокую окислительную активность изучаемой группы микроорганизмов. В случае неблагоприятных условий среды (по температуре, освещенности, прозрачности водной среды или содержанию в ней БВ) значения k_0 могут быть отрицательными; это означает отсутствие условий для развития биомасс, и ее значение в рассматриваемый период времени должно снижаться.

Для гетеротрофных бактерий В1 период наибольшей активности в районе 1 приходится на август–ноябрь (колебания k_{0B1} в пределах 0.005–0.061 сут⁻¹); в районе 2 – на апрель (изменения k_{0B1} в пределах 0.003–0.329 сут⁻¹) и на сентябрь–декабрь (k_{0B1} меняются в пределах 0.021–0.049 сут⁻¹); в районе 3 – на май–август (колебания k_{0B1} от –0.015 до 0.044 сут⁻¹) и на сентябрь–декабрь (k_{0B1} = 0.041–0.061 сут⁻¹). Тенденции изменений значений k_{0B1} в начале года подобны в районах 1 и 2, в середине года они подобны во всех районах, а в конце года они подобны в районах 2 и 3.

Развитие биомассы фитопланктона F1 наиболее активно в районе 1 происходит в апреле–июне (изменения значений k_{0F1} от –0.455 до 1.020 сут⁻¹) и в сентябре–ноябре (изменения значений k_{0F1} от –0.026 до 0.648 сут⁻¹); в районе 2 – в январе–марте (изменения значений k_{0F1} от –0.155 до 0.575 сут⁻¹) и в сентябре–ноябре (изменения значений k_{0F1} от –0.023 до 0.509 сут⁻¹); в районе 3 – также в январе–марте (изменения значений k_{0F1} от –0.229 до 1.357 сут⁻¹) и в сентябре–ноябре (изменения значений k_{0F1} от –0.027 до 0.801 сут⁻¹). С начала года благоприятные условия развития водорослей F1 отмечаются в районе 3, весной – в районах 1 и 2, летом условия развития F1 практически одинаковы в районах 1–3, а осенью они предпочтительнее в районах 1 и 3 в сравнении с районом 2.

Биомасса фитопланктона F2 в районе 1 наиболее активно формируется в апреле–мае (изменения значений k_{0F2} от 0.005 до 0.550 сут⁻¹); в районе 2 – в январе–марте (изменения значений k_{0F2} от 0.038 до 0.189 сут⁻¹); в районе 3 – в

январе–марте (изменения значений k_{0F2} от 0.036 до 0.517 сут⁻¹) и в сентябре–декабре (изменения значений k_{0F2} от 0.055 до 0.384 сут⁻¹). С начала года условия развития фитопланктона F2 наиболее благоприятны в районах 2 и 3, весной и летом – в районе 1, а осенью – в районе 3 в сравнении с районами 1 и 2.

Биомасса фитопланктона F3 в районе 1 наиболее активно развивается в апреле–мае (изменения значений k_{0F3} от 0.001 до 0.416 сут⁻¹) и в июне–августе (изменения значений k_{0F3} от –0.149 до 0.435 сут⁻¹); в районе 2 – в апреле–мае (изменения значений k_{0F3} от –0.006 до 0.479 сут⁻¹); в районе 3 – также в апреле–мае (изменения значений k_{0F3} от –0.003 до 0.201 сут⁻¹) и в сентябре–октябре (изменения значений k_{0F3} от 0.041 до 0.132 сут⁻¹). Весной условия во всех районах благоприятны для развития фитопланктона F3, в летний период они более благоприятны в районе 1, а осенью – в районах 2 и 3.

Биомасса зоопланктона Z1 в районе 1 развивается наиболее активно в апреле–июле (изменения k_{0Z1} в пределах от –0.247 до 0.964 сут⁻¹) и в августе–ноябре (изменения k_{0Z1} от –0.207 до 0.360 сут⁻¹); в районе 2 – также в апреле–июле (изменения k_{0Z1} в пределах от –0.164 до 0.931 сут⁻¹) и в августе–ноябре (изменения k_{0Z1} от –0.119 до 0.290 сут⁻¹); в районе 3 – в январе–марте (изменения k_{0Z1} в пределах от –0.104 до 0.435 сут⁻¹), в апреле–июле (изменения k_{0Z1} в пределах от –0.254 до 0.468 сут⁻¹) и в августе–ноябре (изменения k_{0Z1} в пределах от –0.237 до 0.466 сут⁻¹). Весной условия для развития зоопланктона Z1 наиболее благоприятны в районах 1 и 2, а в районе 3 такие условия сохраняются во все периоды года.

Биомассы зоопланктона Z2 в районе 1 наиболее активно развиваются в апреле–июле (изменения k_{0Z2} в пределах от –0.337 до 1.002 сут⁻¹) и в августе–октябре (изменения k_{0Z2} в пределах от –0.216 до 0.293 сут⁻¹); в районе 2 – в апреле–июле (изменения k_{0Z2} в пределах от –0.320 до 0.920 сут⁻¹); в районе 3 – в апреле–июле (изменения k_{0Z2} в пределах от –0.381 до 0.747 сут⁻¹) и в августе–октябре (изменения k_{0Z2} в пределах от –0.209 до 0.418 сут⁻¹). Весной благоприятные условия для развития биомассы зоопланктона Z2 имеют место в районах 1–3, летом они становятся менее благоприятными в сравнении с весенним периодом. Осенью условия развития биомассы зоопланктона Z2 в целом более благоприятны в районе 3 в сравнении с районами 1 и 2.

В районах 1–3 первый период активного развития биомассы бактерий B4 в течение года приходится на 123–144-е сут. Он характеризуется максимальными значениями удельной скорости роста биомассы, k_{0B4} , равными в разных районах 0.252 сут⁻¹. При снижении биомассы B4 значения k_{0B4} становятся отрицательными, их минимальные значения в районах 1–3 составляют соответственно –0.061, –0.082 и –0.144 сут⁻¹ (приходится на 257–228-е сут). При формировании второго максимума биомассы бактерий B4, который в районах 1–3 приходится на 286-е, 279-е и 312-е сут, наибольшие значения k_{0B4} составляли в указанных районах 0.158, 0.115 и 0.213 сут⁻¹ соответственно. При формировании первого максимума B_4 окислительная их активность во всех исследованных районах характеризовалась градацией «высокая», а при втором максимуме – в районах 1–2 и 3 соответственно градациями «средняя» и «высокая».

Время оборота химических и биологических переменных состояния водной среды (τ , сут) позволяет раскрыть пространственно-временные особенности динамики исследуемых показателей. Для химических переменных τ рассчитывается в виде отношения мгновенных величин концентраций веществ к модулю суммарной скорости их изменения, а для биомасс гидробионтов – в виде отношения мгновенных величин биомассы гидробионта к суммарной скорости всех процессов, участвующих в формировании этой биомассы. Значение τ – те-

оретическое время, за которое в конкретный момент времени может произойти полное обновление имеющейся в данный момент времени концентрации вещества (или биомассы рассматриваемого гидробионта) при действующем наборе скоростей изменения данного показателя.

Для анализа изменения значений τ для гидробионтов условно выделены периоды с характерными диапазонами изменений этого параметра: 1) зимний (январь–февраль–март); 2) весенний (март–апрель–май); 3) летний (июнь–август); 4) осенний (сентябрь–ноябрь) и 5) переход к зиме (декабрь). Сезонные колебания значений времени оборота биомассы гетеротрофных бактерий В1 ($\tau_{В1}$) определяются внутригодовыми изменениями температуры воды и концентраций БВ, приходящихся на единицу биомассы В1. Для района 1 в зимний и переходный от осени к зиме периоды значения $\tau_{В1}$ имеют более высокие значения (соответственно 22.12–38.06 и 13.14–20.90 сут) в сравнении с районами 2 и 3 (соответственно для зимнего периода значения $\tau_{В1}$ составляют 12.32–30.31 и 1.68–12.31 сут, а для переходного к зиме периода – 7.96–15.12 и 6.52–8.01 сут). Для весеннего, летнего и осеннего периодов значения $\tau_{В1}$ для районов 1–3 в целом отличаются мало, и общие для этих периодов пределы колебаний $\tau_{В1}$ составляют 2.77–20.27, 7.58–13.63 и 5.20–12.37 сут соответственно для указанных районов.

Оборот биомассы NF-окисляющих бактерий В4 в целом более быстрый, чем у В1. Соответственно для районов 1–3 выявлен и меньший разброс значений $\tau_{В4}$ в разные периоды года. Общие для районов 1–3 значения $\tau_{В4}$ меняются в следующих пределах: 1.25–6.91, 1.14–6.32, 1.14–5.02, 1.39–4.48 и 1.91–8.36 сут соответственно в зимний, весенний, летний, осенний и переходный к зиме периоды.

Колебания значений τ у фито- и зоопланктона определяются комплексным влиянием факторов (температура воды, соотношение биомасса/концентрация БВ, суточные изменения освещенности и прозрачность водной массы). Поэтому значения τ планктонных организмов во все сезоны года характеризуются большим спектром изменчивости, но у каждой группы планктонных организмов имеются свои характерные пределы. У диатомовых водорослей F1 общие для районов 1–3 пределы изменения τ_{F1} составляют 1.12–32.15, 1.07–26.62, 2.06–21.53, 0.89–20.64, 1.16–27.48 сут соответственно в зимний, весенний, летний, осенний и переходный к зиме периоды.

Оборот биомассы фитопланктона F2 осуществляется в целом медленнее, чем фитопланктона F1. В районе 1 оборот биомассы фитопланктона F2, τ_{F2} , во все периоды года происходит медленнее в сравнении с районами 2 и 3, а в районе 3 он осуществляется быстрее, чем в районе 2. Практически подобные закономерности выявлены в изменении оборота биомассы фитопланктона F3 (он осуществляется медленнее в сравнении с оборотом биомасс В1 и F1). Значения τ_{F2} и τ_{F3} сопоставимы только в летний период, однако и в этот сезон интенсивность оборота биомасс F2 и F3 **существенно ниже, чем оборот биомассы фитопланктона F1.**

Оборот биомассы растительного зоопланктона Z1 в целом сопоставим с оборотом биомассы фитопланктона F1. В районах 1 и 2 зимой значения τ_{Z1} меняются в сопоставимых пределах (10.21–34.08 сут); весной такая тенденция сохраняется при меньшем диапазоне изменений τ_{Z1} (1.19–13.08 сут). В районе 3 зимой и весной оборот биомассы Z1 осуществляется быстрее, а значения τ_{Z1} в указанные сезоны колеблются соответственно в пределах 3.45–16.32 и 2.31–7.67 сут. Летом и осенью в районах 1–3 оборот биомассы Z1 происходит примерно с одинаковой интенсивностью: общие пределы колебаний значений τ_{Z1} в указанные сезоны составляют 2.18–15.81 и 2.20–15.64 сут соответственно.

В переходный от осени к зиме период складываются разные условия оборота биомассы Z1: в районе 1 интенсивность ее оборота существенно замедляется, в районе 2 это замедление выражено не столь значимо, а в районе 3 оборот биомассы Z1 ускоряется. Значения τ_{Z1} для районов 1–3 в этот период меняются соответственно в пределах 11.70–22.98, 5.14–11.98 и 2.31–5.11 сут.

В районах 1–3 только летом условия оборота биомассы хищного зоопланктона Z2 сопоставимы с таковыми для зоопланктона Z1. Для этого периода общий для районов диапазон колебаний τ_{Z2} составляет 1.61–13.82 сут. Оборот биомасс Z2 в другие периоды года осуществляется медленнее, чем оборот биомасс Z1.

Полученные по результатам расчетов на CNPSi-модели данные по временам оборота БВ, τ , были анализированы для выявления особенностей круговорота элементов (N, P, Si, C в химических компонентах) или отдельно форм их нахождения (растворенных, взвешенных, органических, минеральных), а также распределения значений τ по районам и сезонам года. При этом акцент был сделан на анализ значений τ (на нижнем и верхнем диапазонах его колебаний, их амплитуд и средних величин) для отдельных переменных в разных исследуемых районах.

Потенциал круговорота БВ лучше раскрывают значения нижнего предела колебаний τ . Расположение БВ в левых и правых сторонах рядов, выстроенных по возрастанию значений их τ , отличается достаточной стабильностью и в целом мало зависит от периода года. В левой стороне рядов τ (наименьшие их значения) сосредоточены БВ, характеризующиеся небольшим содержанием, легко-включаемые в оборот гидробионтами, активно участвующие в круговороте и претерпевающие последовательную окислительную трансформацию из одной формы в другую. К таким веществам относятся NH_4 , NO_2 , DOSi, SiD, ND, PD.

В правой части рядов τ (наивысшие их значения) располагаются БВ, характеризующиеся повышенным содержанием в водной среде и достаточно стабильными условиями поступления из внешних источников. В отдельные сезоны последовательность их расположения в правой стороне рядов τ может меняться из-за возможной смены влияющих на их содержание и распределение факторов. Чаще в правой стороне рядов τ обнаруживаются такие компоненты, как DON, DIP, DISi, DOC, NF, O_2 .

Наиболее быстрый круговорот БВ происходит в районе 3 (характеризуется в целом более высокими в отдельные месяцы значениями температуры воды в сравнении с районами 1 и 2), а наиболее медленный их круговорот – в северном районе 1 (здесь среднемесячные значения температуры воды в целом ниже, чем в районах 2 и 3). В летний период, когда оборот концентраций БВ в целом выше, наиболее интенсивно развивается оборот детритных фракций и минеральных компонентов биогенных элементов за счет активного вовлечения веществ микроорганизмами в биогенный круговорот и в окислительную трансформацию. Последовательность расположения химических компонентов в рядах значений τ (верхних пределов их колебаний, амплитуд и средних значений) одинакова зимой и в переходный период от осени к зиме.

Развитие микроорганизмов (B1, F1, F2, F3, Z1 и Z2) по результатам расчетов на модели можно охарактеризовать вычисленными (на основе внутренних потоков веществ) ежемесячными и годовыми значениями их ОБП в единицах N, P, C и Si. В районах 1–3 отношение годовой продукции бактерий к первичной продукции в единицах N составляет соответственно 1.4:1, 0.9:1 и 1.3:1, а в единицах P – 2.4:1, 2.2:1 и 2.8:1. Отношения значений годовой первичной продукции, $\text{ОБП}_{F1} + \text{ОБП}_{F2} + \text{ОБП}_{F3}$, к годовой продукции зоопланктона, $\text{ОБП}_{Z1} + \text{ОБП}_{Z2}$, в единицах N составляют соответственно – 0.75, 1.12 и 0.62,

а в единицах Р – 2.77, 3.92 и 1.42. Выявленные соотношения значений продукции микроорганизмов отражают отличия в воздействии факторов среды, условий формирования биогенной нагрузки и рециклинга БВ в исследованных районах Татарского прол.

Наблюдения показывают в развитии фитопланктона в течение года два максимума ОБП – весной (март–май) и осенью (октябрь–декабрь); в южной части моря они фиксируются раньше, а в северной (Татарский прол.) позже. Результаты моделирования подтверждают эти факты: наибольшие в течение года значения продукции фитопланктона приходится также на указанные месяцы.

Вычисленные на основе потоков веществ для отдельных месяцев и в целом за год значения ОБП_{F1}, ОБП_{F2} и ОБП_{F3} совпадают с имеющимися в литературе оценками. Пересчитанные в единицы С значения БП_{ΣF} для районов 1–3 в мае составляют 2.0741, 0.5471 и 0.2113 г С/(м² сут) и для всего Татарского прол. – 2.8325 г С/(м² сут), в июне – 0.7428, 0.4305 и 0.2442 г С/(м² сут), в октябре–ноябре – 0.385, 0.106 и 1.800 г С/(м² сут), что согласуется с немногочисленными экспериментальными оценками. Соответствие вычисленных по внутренним потокам БВ значений БП_{ΣF} с представленными в литературе экспериментальными оценками – свидетельство надежного количественного воспроизведения моделью биогидрохимических взаимодействий компонентов, определяющих характерные свойства морской среды в данном районе Японского моря.

По результатам расчетов на модели оценены значения потоков БВ при непосредственном участии микроорганизмов (в частности, потребление субстратов питания, выделение продуктов обмена веществ в водную среду, образование детрита и выедание бактерий, фитопланктона и растительного зоопланктона хищным зоопланктоном) для характеристики условий трансформации и круговорота БВ в разных районах. В районах 1–3 гетеротрофные бактерии В1 в форме ДОС потребляют соответственно 6.423, 6.632 и 10.251 г С/(м³ год), потребление ими N составляет 1.954, 0.762 и 1.742 г N/(м³ год), а Р – 0.695, 0.467 и 1.716 г Р/(м³ год). Весовое соотношение количеств С:N:P, потребляемых бактериями В1 за год, составляет 9.2:1.5:1, 14.3:1.6:1 и 6.0:1.0:1 соответственно в районах 1–3.

Потребление минерального N, N_{min} сообществом фитопланктона (F1 + F2 + F3) составляет 0.739, 0.571 и 1.290 г N/(м³ год) соответственно в районах 1–3. Доля потребляемого N_{min} каждой группой фитопланктона в районе 1 составляет соответственно 41.3, 44.8 и 13.9 %, в районе 2 – 43.3, 45.2 и 11.6 %, в районе 3 – 25.5, 50.4 и 24.0 %.

NH₄ и NO₃ – основные минеральные фракции N, потребляемые фитопланктоном. В районах 1–3 потребление фитопланктоном NH₄ составляет 0.388, 0.302 и 0.643 г N/(м³ год) соответственно. Доля F1 в потреблении NH₄ в районах 1–3 составляет 34.0, 29.5 и 14.9 %, F2 – 45.4, 41.4 и 51.9 %, а F3 – 20.6, 19.2 и 18.2 % соответственно. Потребление NO₃ сообществом фитопланктона в районах 1–3 составляет 0.286, 0.231 и 0.501 г N/(м³ год) соответственно. На долю F1 в районах 1–3 приходится 53.5, 58.9 и 21.6 % общего потребления NO₃, а доли F2 и F3 составляют 40.6, 39.8, 44.3 % и 5.9, 1.3, 34.1 % соответственно.

Суммарное потребление ΣР (DIP+DOP) сообществом фитопланктона в районах 1–3 составляет соответственно 0.289, 0.206 и 0.582 г Р/(м³ год), причем в форме DIP потребляется в указанных районах 81.0, 72.3 и 94.2% и в форме DOP – 19.0, 27.7 и 5.8 %. От общего потребления DIP на долю F1 приходится 55.6, 67.8 и 52.7 %, F2 – 34.2, 37.6 и 30.8 % и F3 – 10.3, 8.1 и 16.4 % соответственно в районах 1–3. Доля потребляемого DOP от общего его потребления составляет для F1 34.5, 31.6 и 20.6 %, F2 – 61.8, 63.2 и 55.9 % и F3 – 4.0, 5.3 и 2.4 % в районах 1–3.

Потребление DISi диатомовыми водорослями F1 в районах 1–3 составляет 0.979, 0.607 и 1.706 г Si/(м³ год) соответственно. Для них отношение потребленных $\text{DISi} : \text{N}_{\min} : \Sigma \text{P}$ составляет 6.6:2.0:1, 5.1:2.1:1 и 5.8:1.1:1 в районах 1–3. Соотношение потребляемых $\text{N}_{\min} : \Sigma \text{P}$ сообществом фитопланктона для районов 1–3 составляет 2.6:1, 2.8:1 и 2.2:1 соответственно.

Потребление N сообществом зоопланктона, Z1 + Z2, в районах 1–3 составляет 0.937, 0.700 и 2.090 г N/(м³ год), а P – 0.101, 0.053 и 0.412 г P/(м³ год) соответственно. Соотношение N : P у субстратов, потребляемых зоопланктоном, составляет 9.3:1, 13.2:1 и 5.1:1 в районах 1–3 соответственно.

Метаболическими выделениями B1, сообщества фито- и зоопланктона создаются в форме DON 0.020–0.046, 0.140–0.312 и 0.055–0.234 г N/(м³ год) соответственно. Основное количество DON (0.454–1.022 г N/(м³ год)) создается в водной среде при разложении ND. В районах 1–3 метаболическими выделениями B1 и фитопланктона, а также за счет распада PD до DOP образуется соответственно 0.032–0.117 и 0.099–0.280 и 0.074–0.161 г P/(м³ год). Бактерии B1 и зоопланктон (Z1 + Z2) в виде DIP выделяют в районах 1–3 0.126–0.467 и 0.005–0.099 г P/(м³ год) соответственно.

В морской среде за счет активности микроорганизмов непрерывно образуется детрит. Общее количество образованного PD в районах 1–3 составляет 0.634, 0.395 и 1.496 г P/(м³ год) соответственно (вклад бактерий, фито- и зоопланктона составляет 64.0–66.2, 16.2–24.6 и 11.4–19.8 %), а количество образованного ND составляет 1.915, 1.383 и 3.586 г N/(м³ год) (вклад бактерий оценен равным 29.1–35.3 %, фитопланктона – 22.3–24.4 %, зоопланктона – 42.2–48.3 % соответственно). Суммарные ежегодные потери детрита при его седиментации в десятки и сотни раз меньше образующегося при развитии биомасс микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алекин, О. А.* Химия океана / О. А. Алекин, Ю. И. Ляхин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 344 с.
2. *Аннин, В. К.* Роль абиотических факторов в распределении бентосных фораминифер в Татарском проливе / В. К. Аннин // *Океанология*. – 2002. – Т. 42. – № 4. – С. 551–554.
3. *Аржанова, Н. В.* Регенерация биогенных элементов при бактериальном распаде органического вещества отмершего планктона в Атлантическом океане. Условия среды и биопродуктивность моря / Н. В. Аржанова. – М. : Пищевая промышленность, 1982. – С. 7–15.
4. *Биогеохимия океана*. – М. : Наука, 1983. – 368 с.
5. *Гершанович, Д. Е.* Биопродуктивность океана / Д. Е. Гершанович, А. А. Елизаров, В. В. Сапожников. – М. : ВО «Агропромиздат», 1990. – 237 с.
6. *Гершанович, Д. Е.* Океанические основы биологической продуктивности Мирового океана / Д. Е. Гершанович, А. М. Муромцев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1982. – 320 с.
7. *Гусарова, А. Н.* Отношения растворенных форм биогенных элементов как показатель трансформации органогенного материала / А. Н. Гусарова // *Биогеохимия северо-западной части Индийского океана*. – М. : Наука, 1981. – С. 53–59.
8. *Звалинский, В. И.* Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. / В. И. Звалинский, В. Б. Лобанов, С. П. Захарков и др. // *Океанология*. – 2006. – Т. 46. – № 1. – С. 27–37.
9. *Звалинский, В. И.* Параметры первичной продукции северо-западной части Японского моря / В. И. Звалинский, В. Б. Лобанов, П. Я. Тищенко // *Дальневосточные моря России*. – М. : Наука, 2007. – Кн. 2. – С. 443–467.
10. *Леонов, А. В.* Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // *Водные ресурсы*. – 2005. – Т. 32. – № 6. – С. 712–726.
11. *Леонов, А. В.* Моделирование загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их биотрансформации в водах Татарского пролива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // *Водные ресурсы*. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 225–238.
12. *Иваненков, В. Н.* Главные биогенные элементы. Общие сведения об азоте, фосфоре и кремнии / В. Н. Иваненков // *Океанология. Химия океана*. – М. : Наука, 1979 а. – Т. 1. – С. 176–184.
13. *Иваненков, В. Н.* Баланс кислорода и главных биогенных элементов / В. Н. Иваненков // *Океанология. Химия океана*. – М. : Наука, 1979 б. – Т. 1. – С. 417–425.
14. *Ильинский, В. В.* Распространение и активность углеводородокисляющих бактерий в центральном полярном бассейне, Карском и Белом морях / В. В. Ильинский, М. Н. Семененко // *Опыт системных океанологических исследований в Арктике*. – М. : Науч. мир, 2001. – С. 364–373.
15. *Миронов, О. Г.* Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / О. Г. Миронов, Н. Ю. Миловидова, Т. А. Щекатурина и др. – Киев : Наук. думка, 1988. – 248 с.
16. *Мокиевская, В. В.* О распределении форм фосфора в морской воде / В. В. Мокиевская // *Тр. ИО АН СССР*. – 1958. – Т. XXVI. – С. 215–233.

17. Мокиевская, В. В. Химическая характеристика водных масс. Основные черты геологии и гидрологии Японского моря / В. В. Мокиевская. – М. : АН СССР, 1961. – С. 122–131.
18. 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.
19. Пищальник, В. М. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах Сахалина / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, Г. И. Юрасов и др. // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 5. – С. 87–95.
20. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей. – Т. VIII. Японское море. – СПб. : Гидрометеиздат, 2003. – Вып. 1. – 399 с.; 2004. – Вып. 2. – 207 с.
21. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. – Л. : Гидрометеиздат, 1980.
22. Сорокин, Ю. И. Вертикальная структура и продукция сообщества микропланктона в японском море / Ю. И. Сорокин // Океанология. – 1974. – Т. 14. – № 2. – С. 327–332.
23. Тищенко, П. Я. Сезонная изменчивость гидрохимических свойств Японского моря / П. Я. Тищенко, Л. Д. Талли, В. Б. Лобанов и др. // Океанология. – 2003. – Т. 43. – № 5. – С. 683–695.
24. Armstrong, F. A. J. Phosphorus. Chemical Oceanography / F. A. J. Armstrong. – London : Academic Press, 1965. – Vol. 1. – P. 323–364.
25. Redfield, A. C. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and their Relation to the Composition of Plankton / A. C. Redfield. – James Johnstone Memorial Volume University Press, Liverpool. 1934. – P. 176–192.
26. Redfield, A. C. The processes determining the concentration of oxygen, phosphate and other organic derivatives within the depth of the Atlantic Ocean / A. C. Redfield // Pap. Phys. Oceanogr. Meteor. 1942. – Vol. 9. – № 2. – P. 1–22.
27. Redfield, A. C. The influence of organisms on the composition of sea-water. In «The Sea» / A. C. Redfield, B. H. Ketchum, F. A. Richards // Ed. Hill M. N. Interscience. – New York, 1963. – Vol. 2. – P. 26–77.
28. Richards, F. A. Anoxic Basins and Fjords / F. A. Richards // Chemical Oceanography. – London : Academic Press, 1965. – Vol. 1. – P. 611–645.
29. Spencer, C. P. The Micronutrient Elements / C. P. Spencer // Chemical Oceanography. – London : Academic Press, 1965. – Vol. 2. – P. 245–300.
30. Sverdrup, H. U. In «Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology» / H. U. Sverdrup, M. W. Johnson, R. H. Fleming. – New York : Prentice Hall, 1942. – 1087 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

*(графики и диаграммы изменения в течение года
расчетных показателей в Татарском прол., рис. 13–88)*

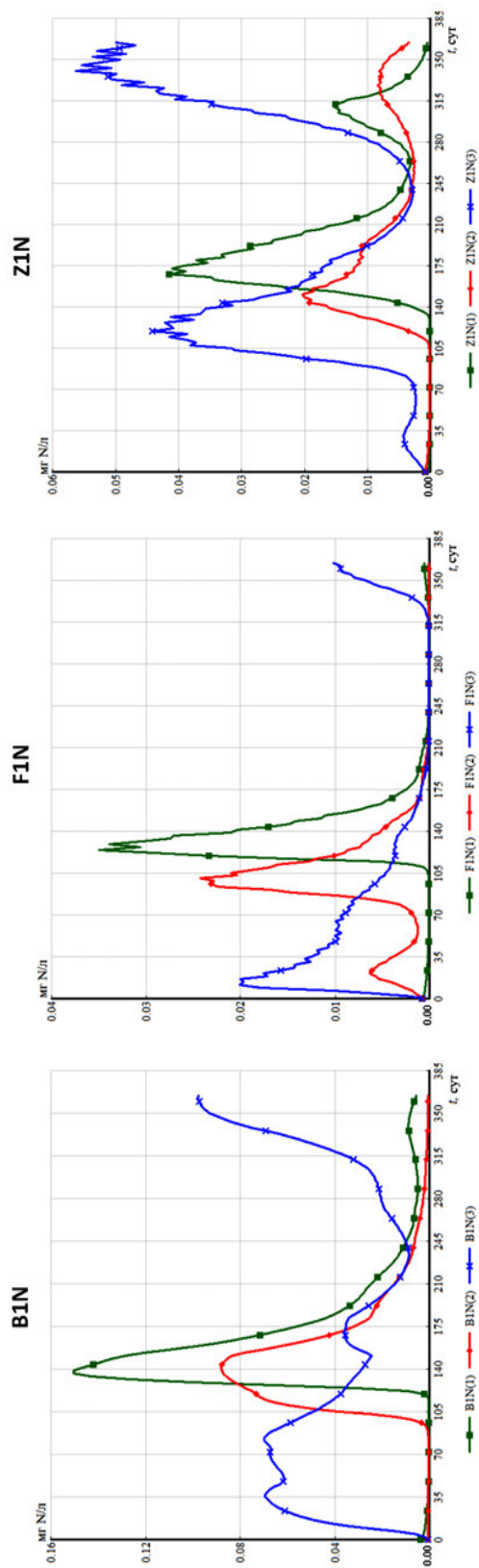


Рис. 13. Изменение расчетных биомасс гетеротрофных бактерий, 1-й группы фито- и зоопланктона в единицах N (BIN, FIN, ZIN) в районах 1–3

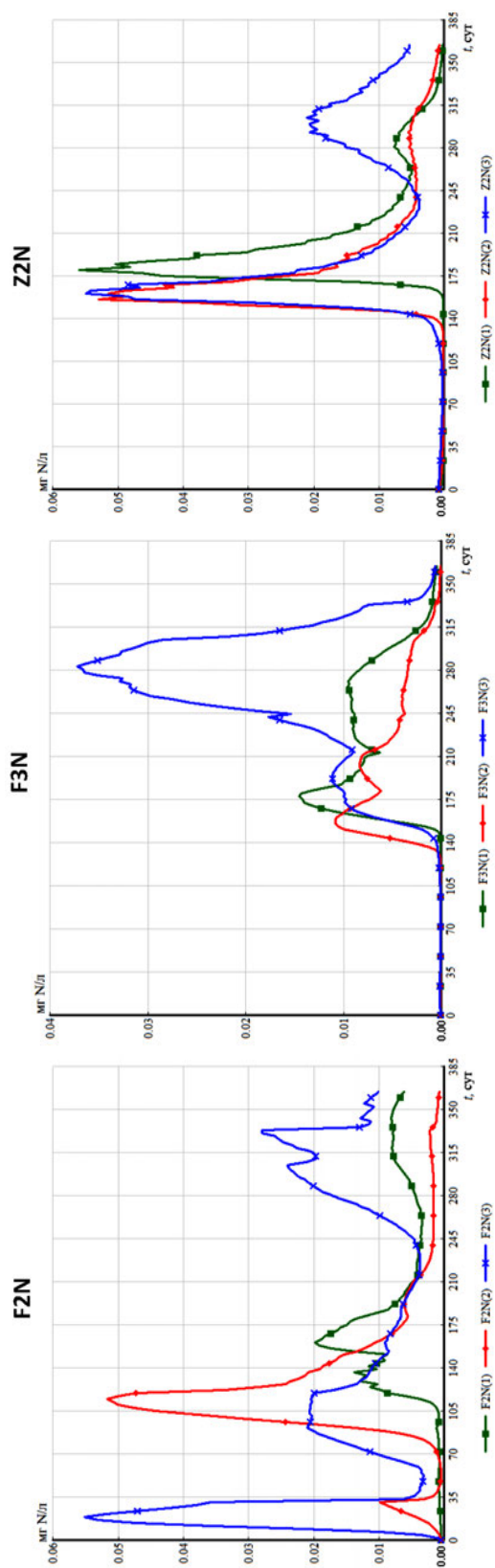


Рис. 14. Изменение расчетных биомасс 2-й и 3-й групп фитопланктона и хищного зоопланктона в единицах N ($F2N$, $F3N$, $Z2N$) в районах 1–3

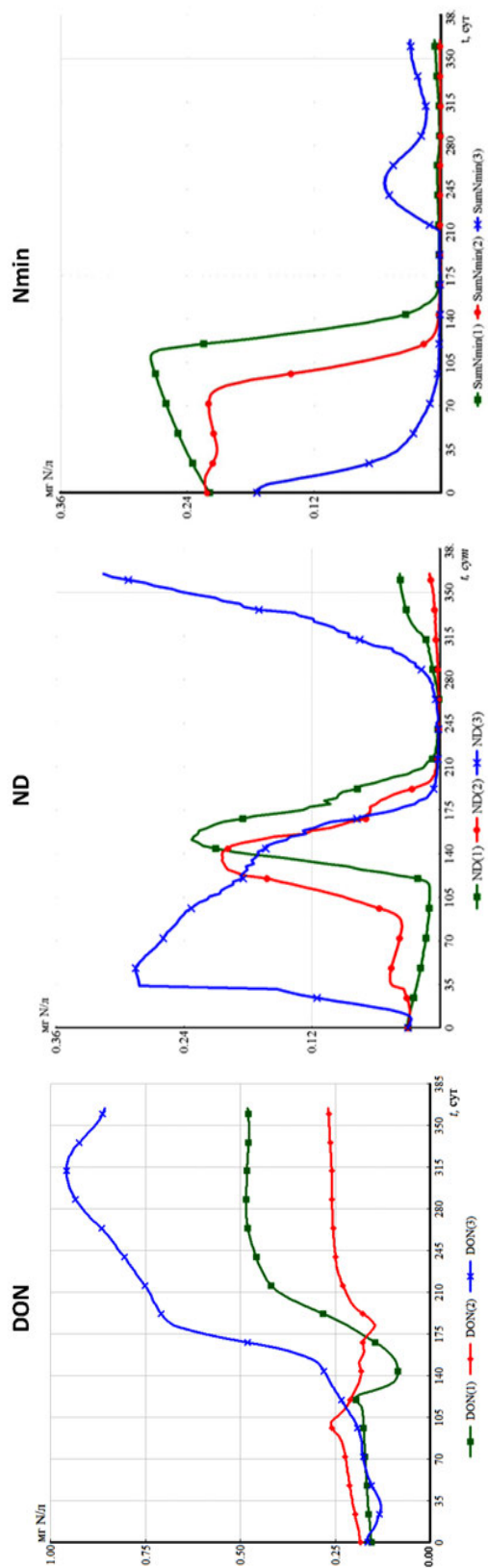


Рис. 15. Изменение расчетных концентраций DON, ND и UR в районах 1–3

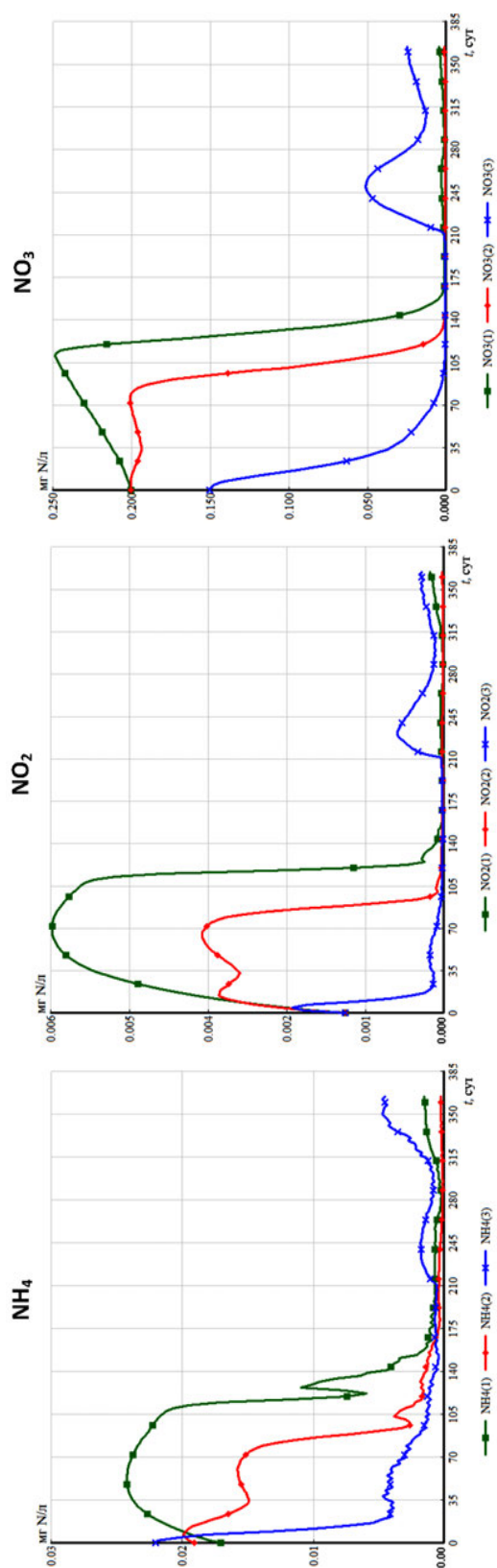


Рис. 16. Изменение расчетных концентраций NH_4 , NO_2 и NO_3 в районах 1–3

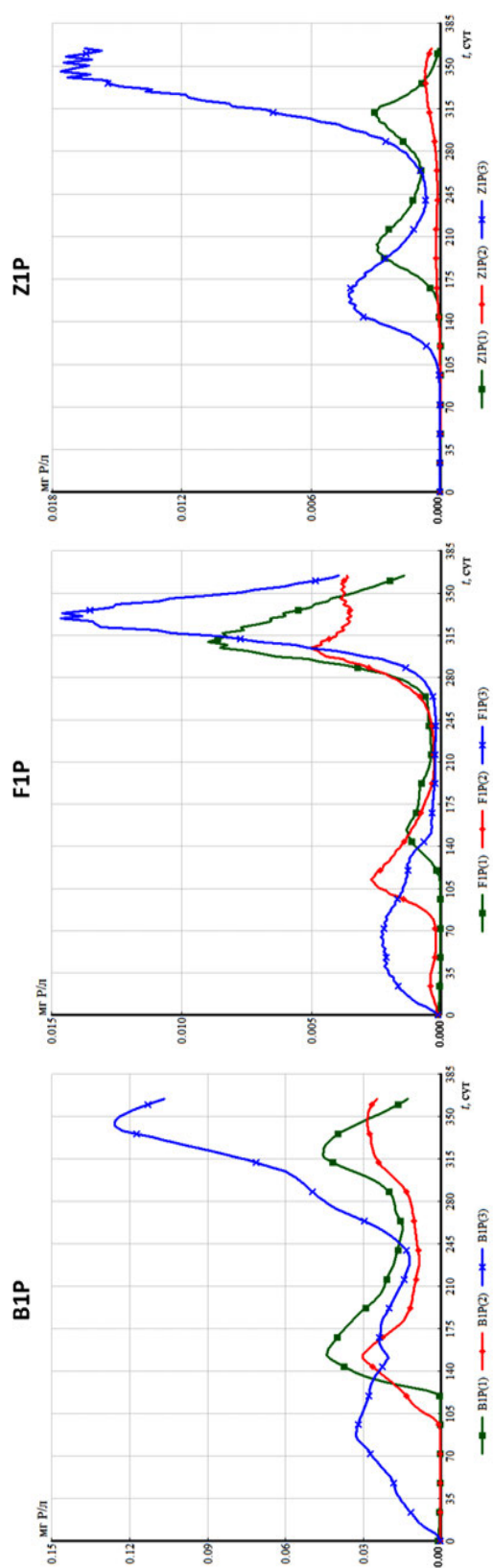


Рис. 17. Изменение расчетных биомасс гетеротрофных бактерий, 1-й группы фито- и зоопланктона в единицах Р (B1P, F1P, Z1P) в районах I–3

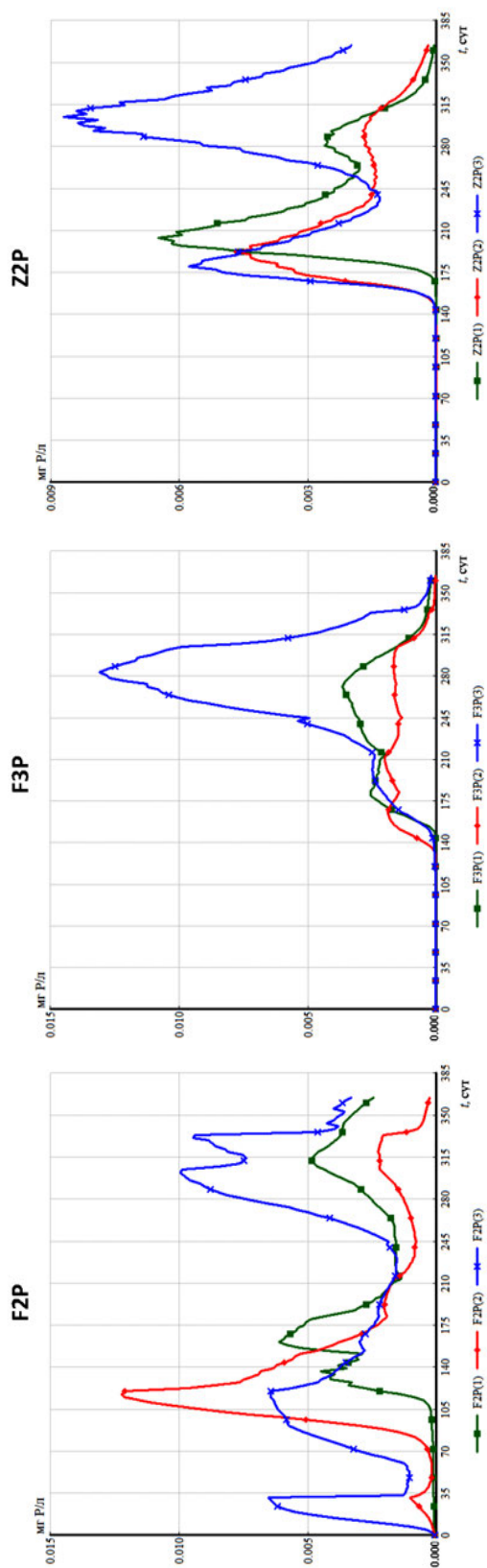


Рис. 18. Изменение расчетных биомасс 2-й и 3-й групп фитопланктона и хищного зоопланктона в единицах Р (F2P, F3P, Z2P) в районах 1–3

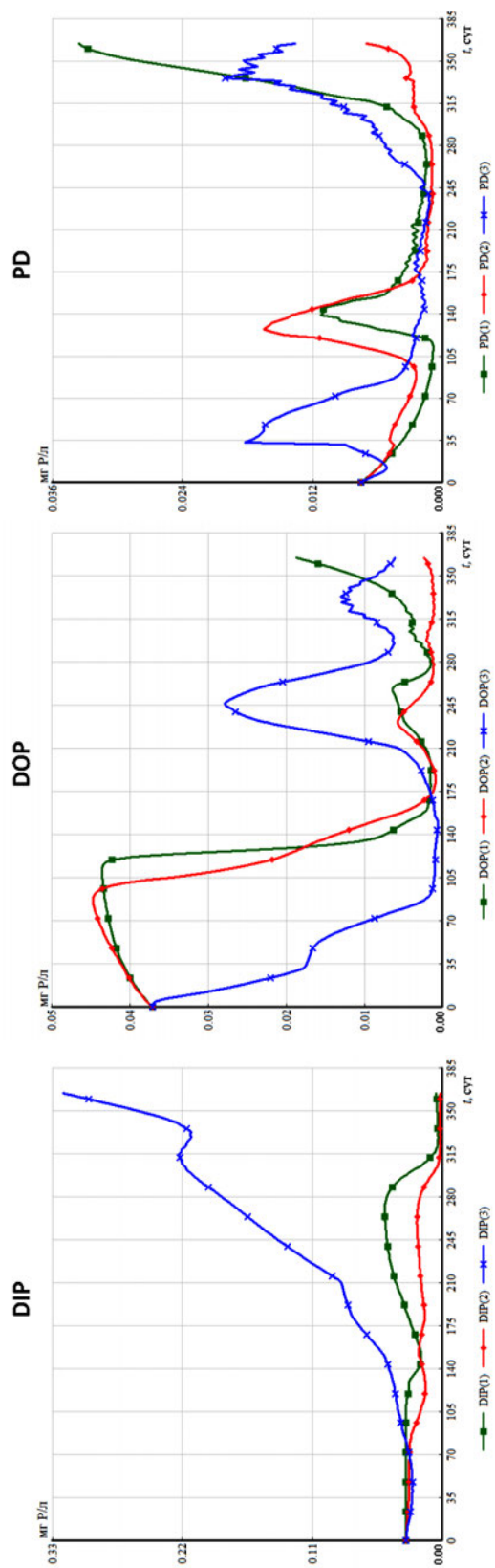


Рис. 19. Изменение расчетных концентраций DIP, DOP и PD в районах 1–3

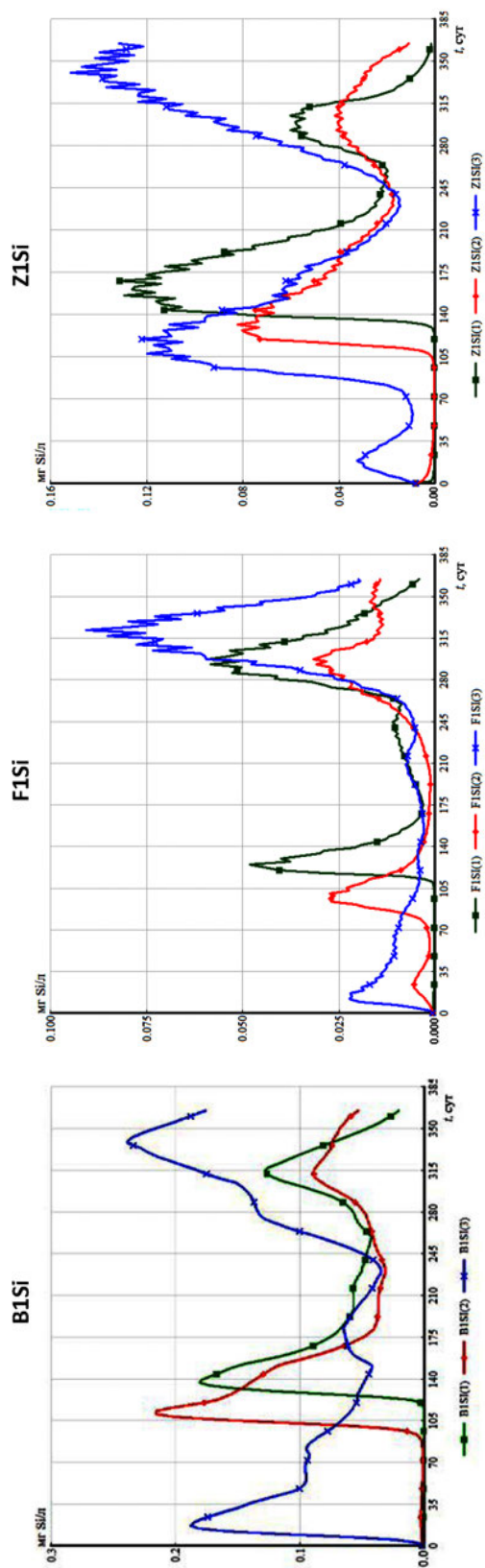


Рис. 20. Изменение рассчитанных биомасс гетеротрофных бактерий, 1-й группы фито- и зоопланктона в единицах Si (B1Si, F1Si, Z1Si)

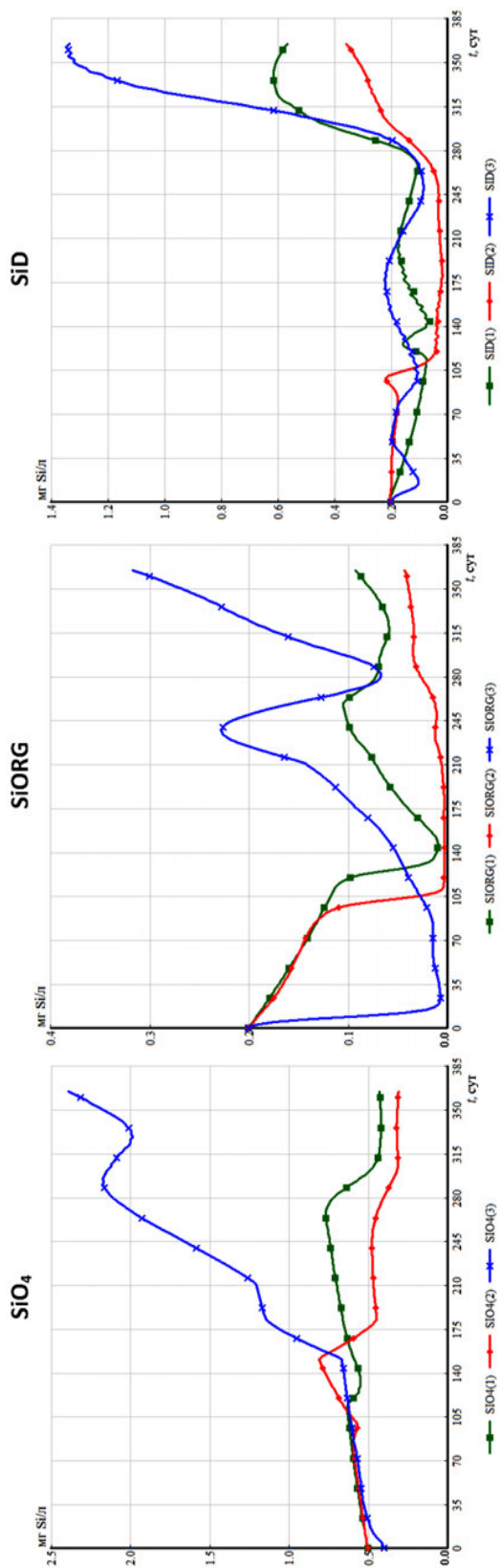


Рис. 21. Изменение расчетных концентраций SiO_4 , SiORG и SiD в районах 1–3

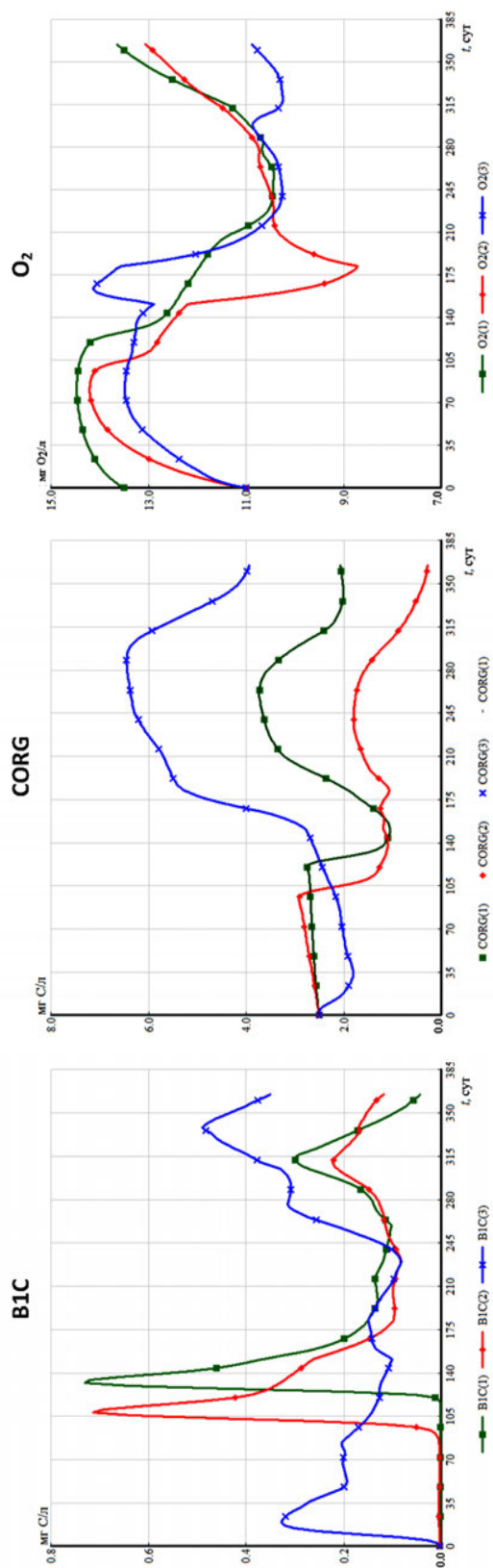


Рис. 22. Изменение рассчитанных биомасс гетеротрофных бактерий в единицах C (B1C), концентраций CORG и O_2 в районах 1–3

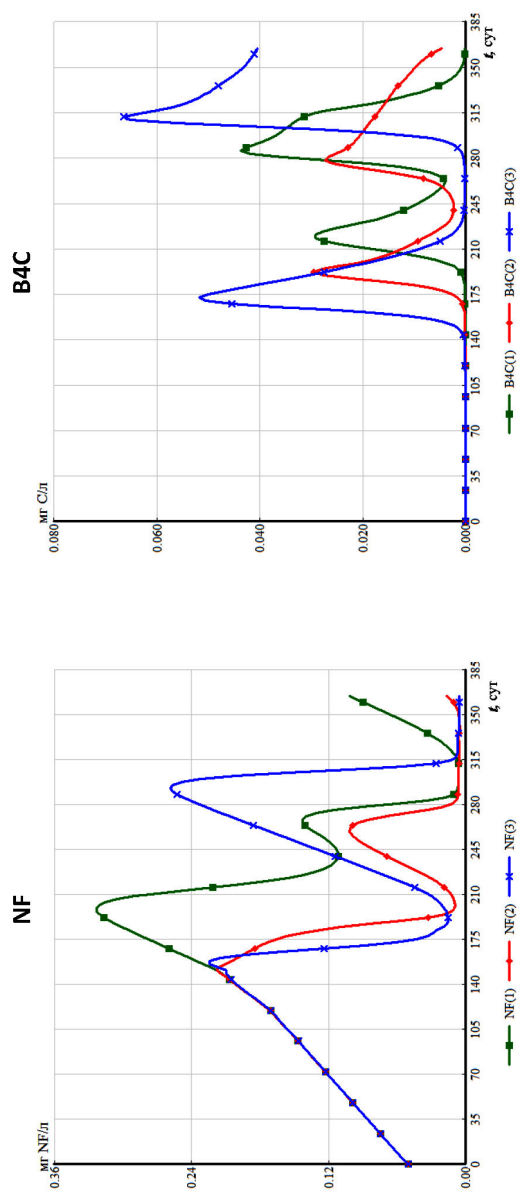


Рис. 23. Изменение расчетных концентраций NF и биомасс NF-окисляющих бактерий в районах 1–3

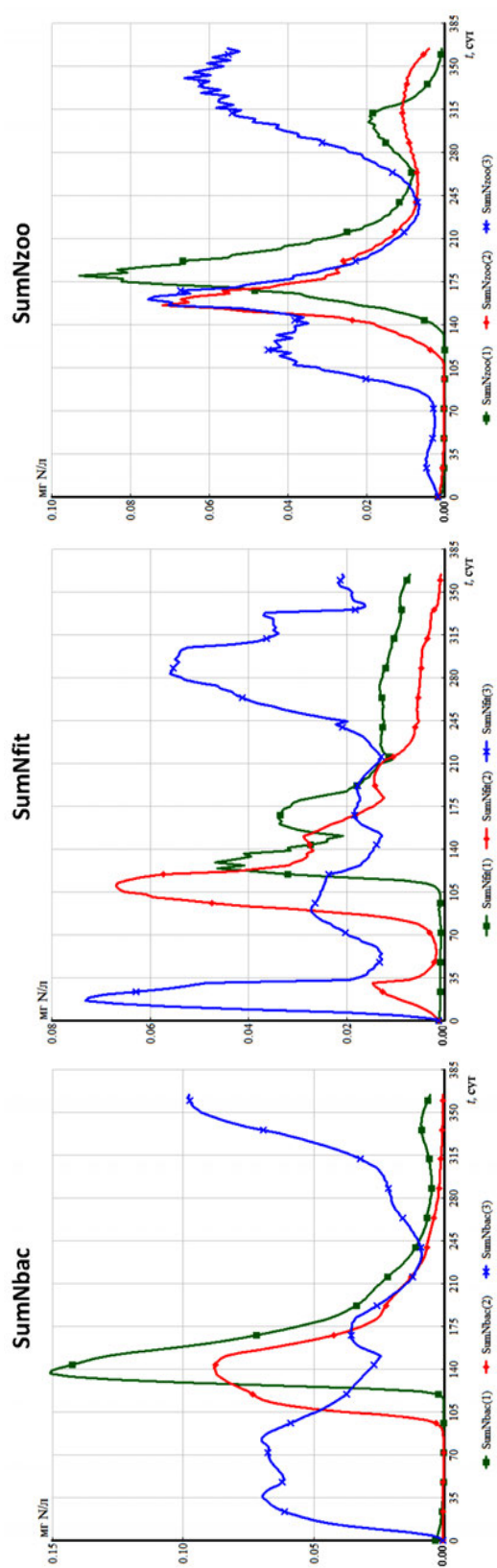


Рис. 24. Изменение расчетных суммарных концентраций N в биомассах бактерий ($SumNbac$), фито- ($SumNfit$) и зоопланктона ($SumNzoo$) в водах районов 1–3

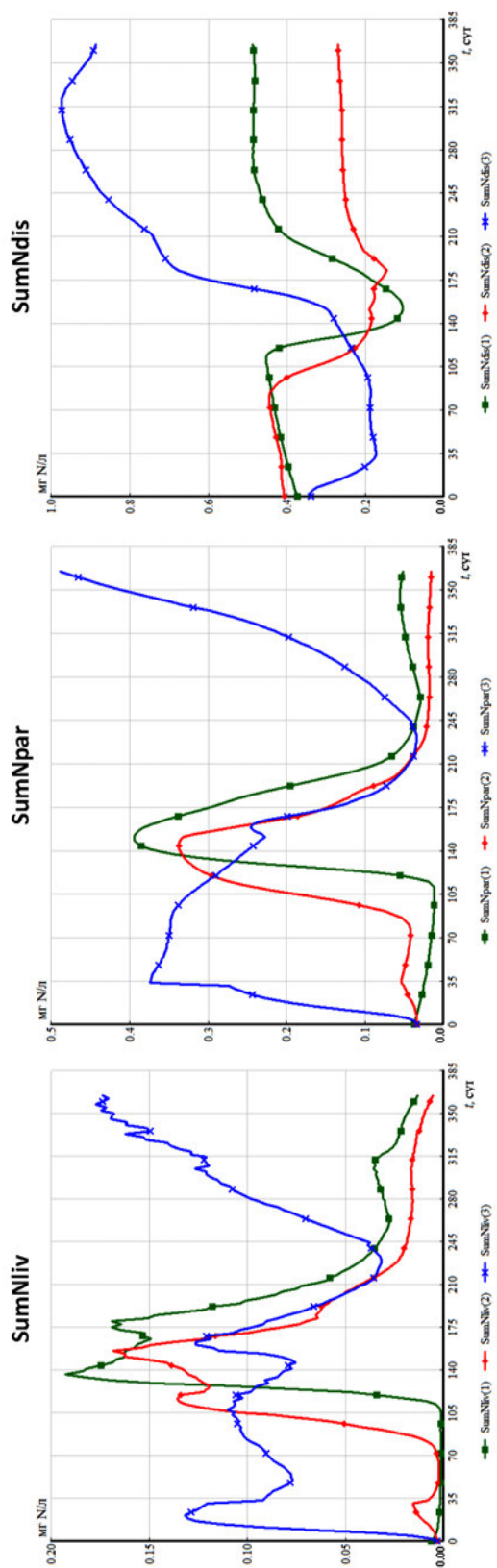


Рис. 25. Изменение расчетных суммарных концентраций N в общей биомассе (*SumNliv*), взвеси (*SumNpar*) и растворе (*SumNdis*) в районах 1–3

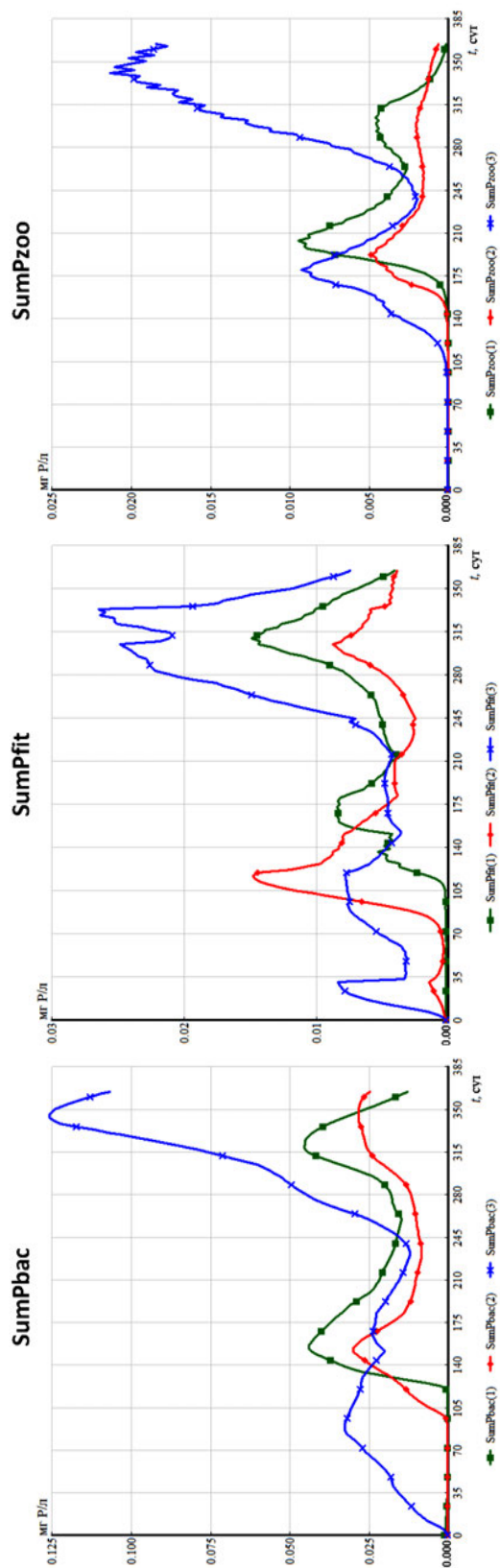


Рис. 26. Изменение расчетных суммарных концентраций P в биомассах бактерий ($SumPbac$), фито- ($SumPfit$) и зоопланктона ($SumPzoo$) в районах 1–3

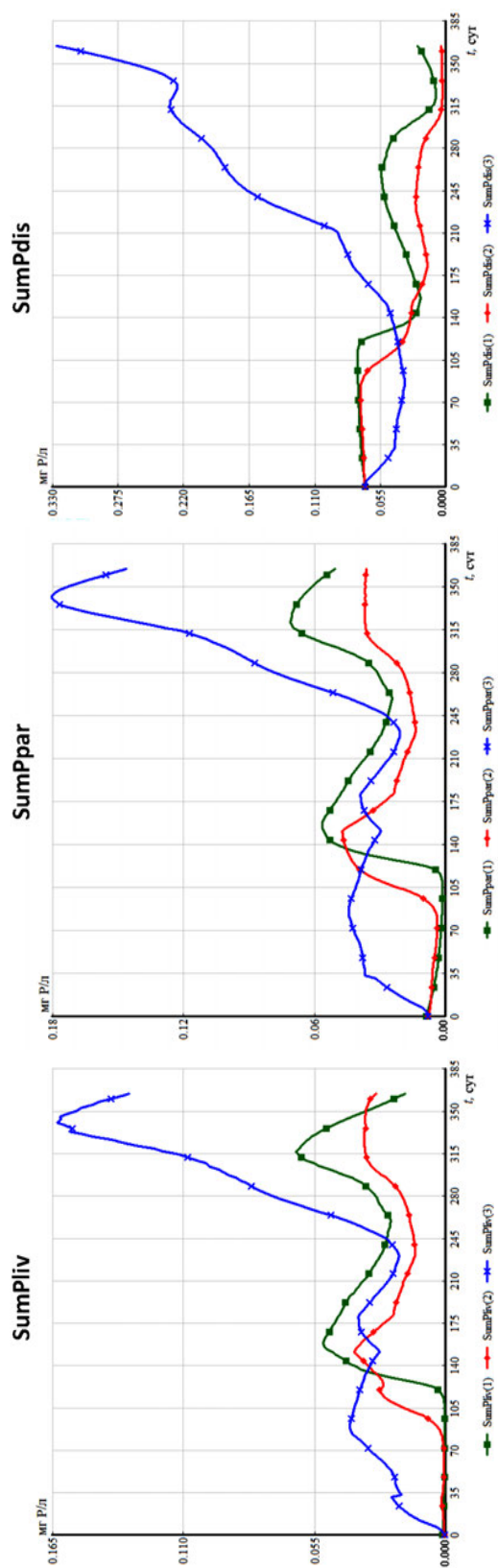


Рис. 27. Изменение рассчитанных суммарных концентраций Р в общей биомассе (SumPliv), взвеси (SumPpar) и растворе (SumPdis) в районах 1–3

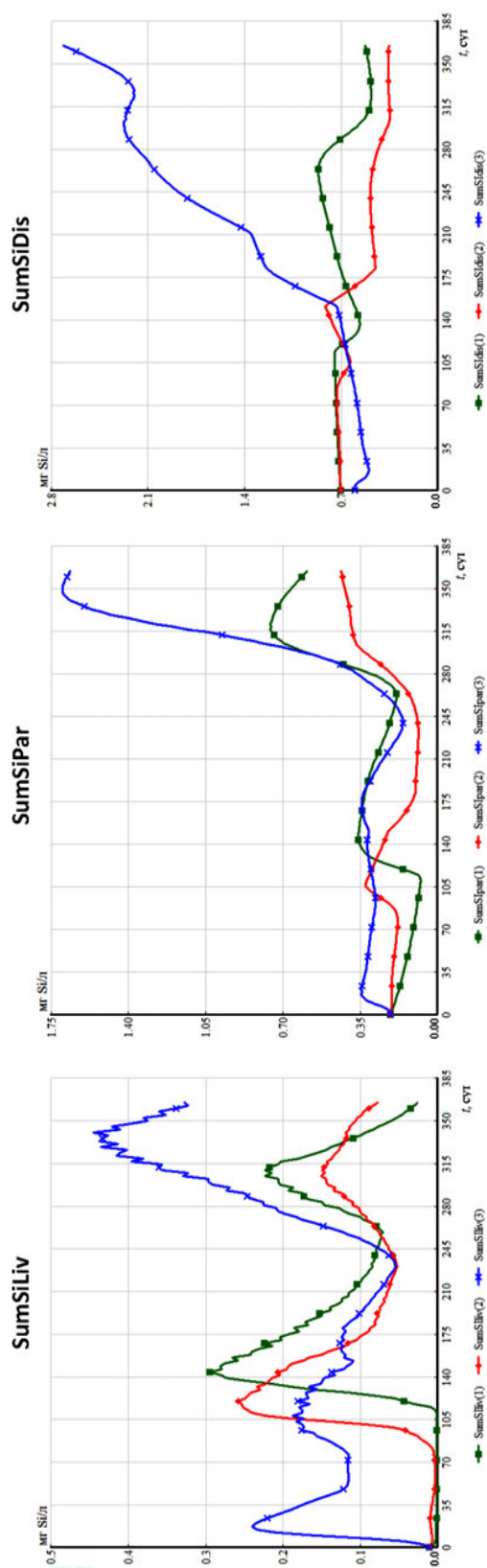


Рис. 28. Изменение расчетных суммарных концентраций Si в биомассе (SumSiLiv), взвеси (SumSiPar) и растворе (SumSiDis) в водах районов 1–3

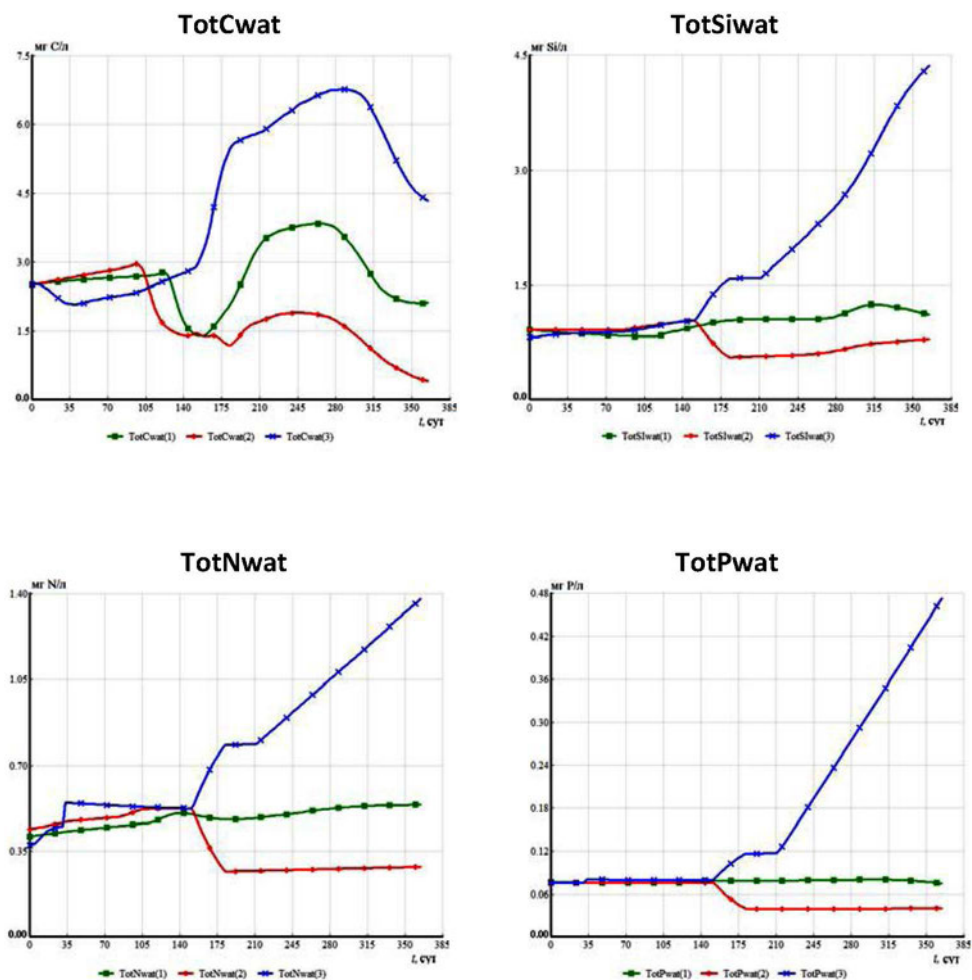


Рис. 29. Изменение расчетных суммарных концентраций C, Si, N и P в водах районов 1–3 Татарского прол.

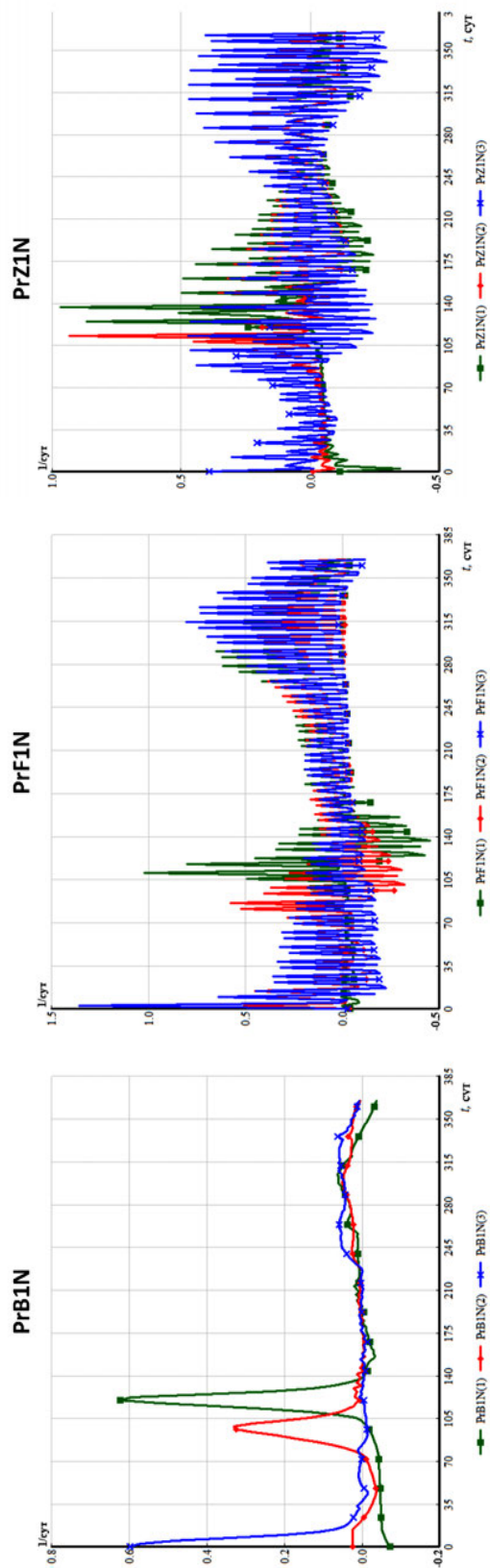


Рис. 30. Изменение удельных скоростей роста биомасс BIN, FIN и ZIN в водах районов 1–3 Татарского прол.

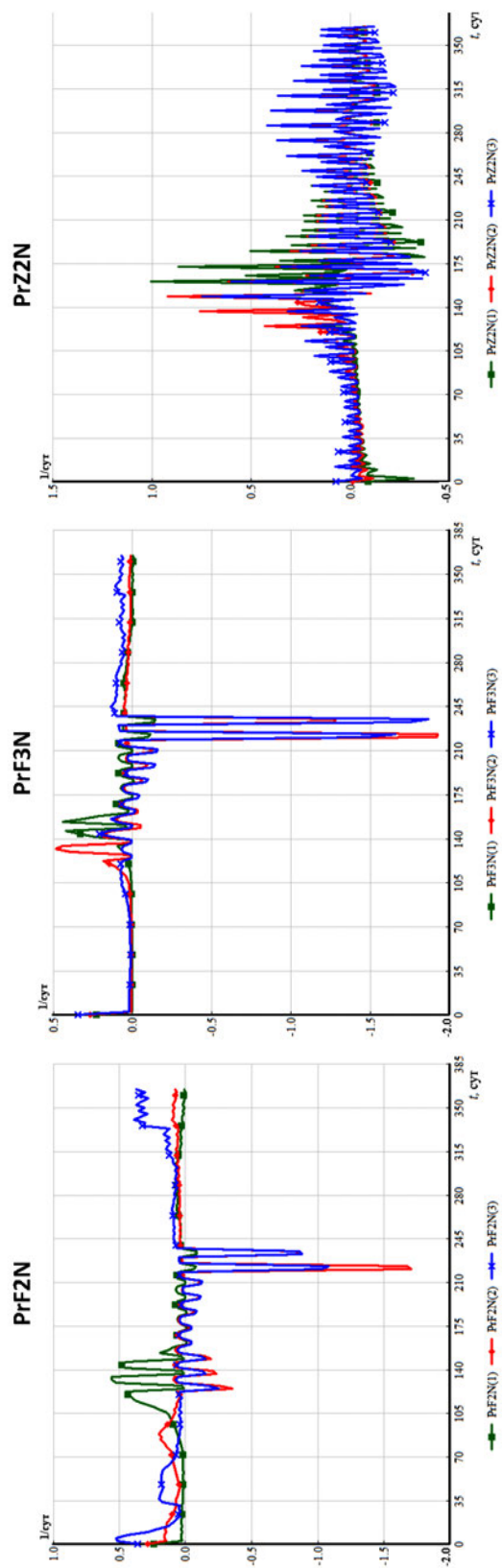


Рис. 31. Изменение удельных скоростей роста биомасс $F2N$, $F3N$ и $Z2N$ в водах районов 1–3 Татарского прол.

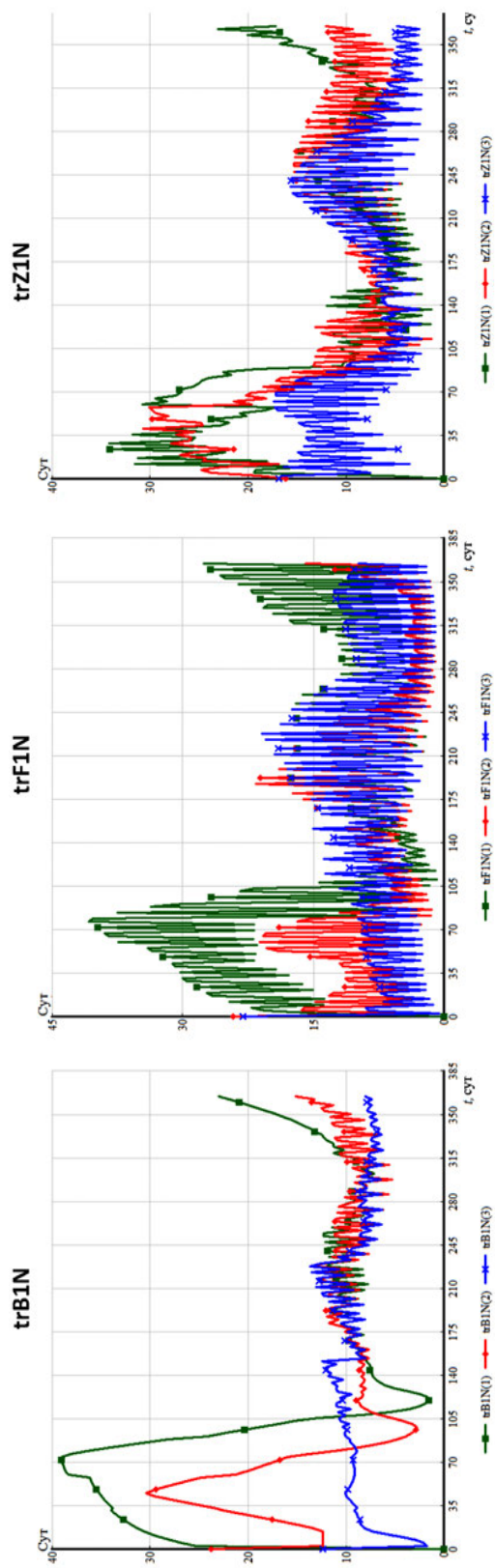


Рис. 32. Изменение расчетного времени оборота биомассы бактерий, 1-й группы фито- и зоопланктона в единицах N (BIN, FIN, ZIN) в районах 1–3

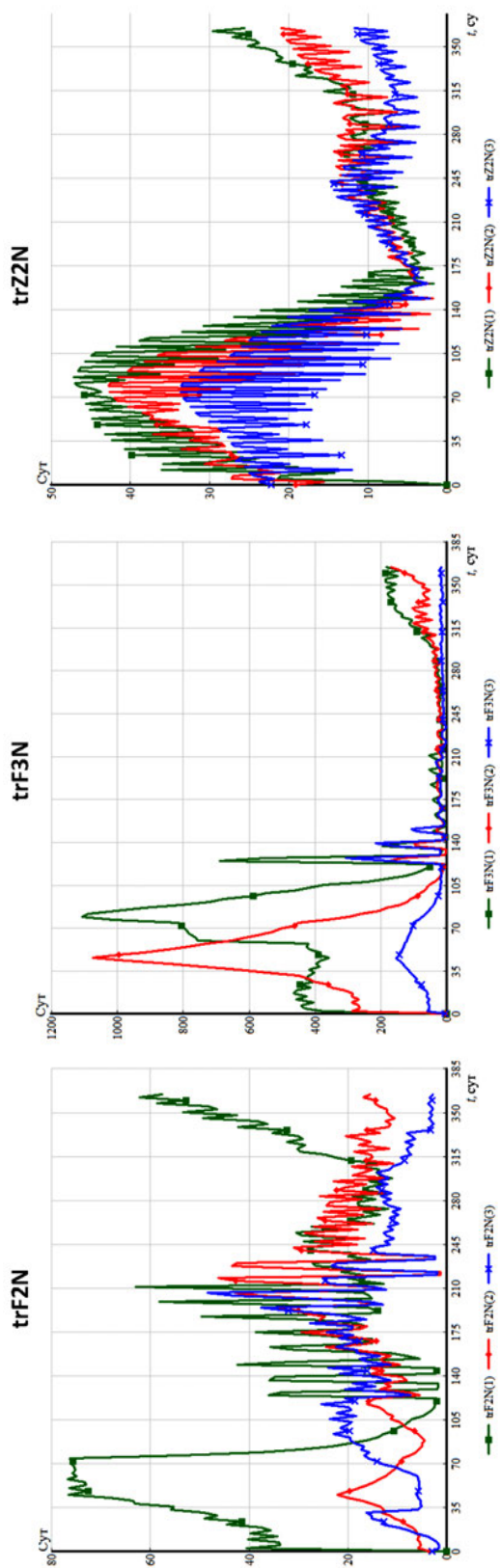


Рис. 33. Изменение расчетных времен оборота биомасс 2-й и 3-й групп фитопланктона и хищного зоопланктона в единицах N (F2N, F3N, Z2N) в районах 1–3

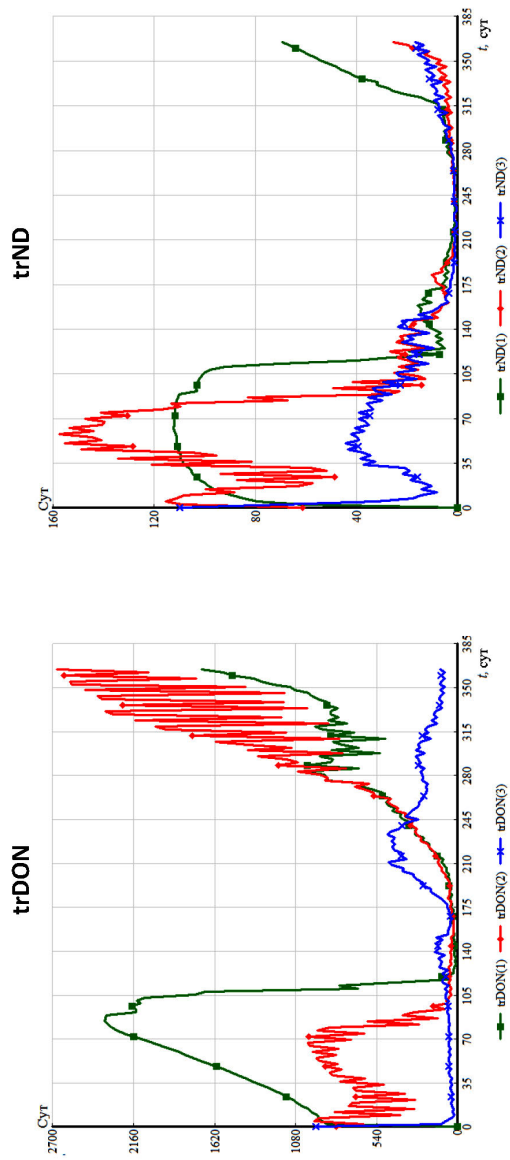


Рис. 34. Изменение расчетного времени оборота концентраций DON и ND в водах районов 1–3

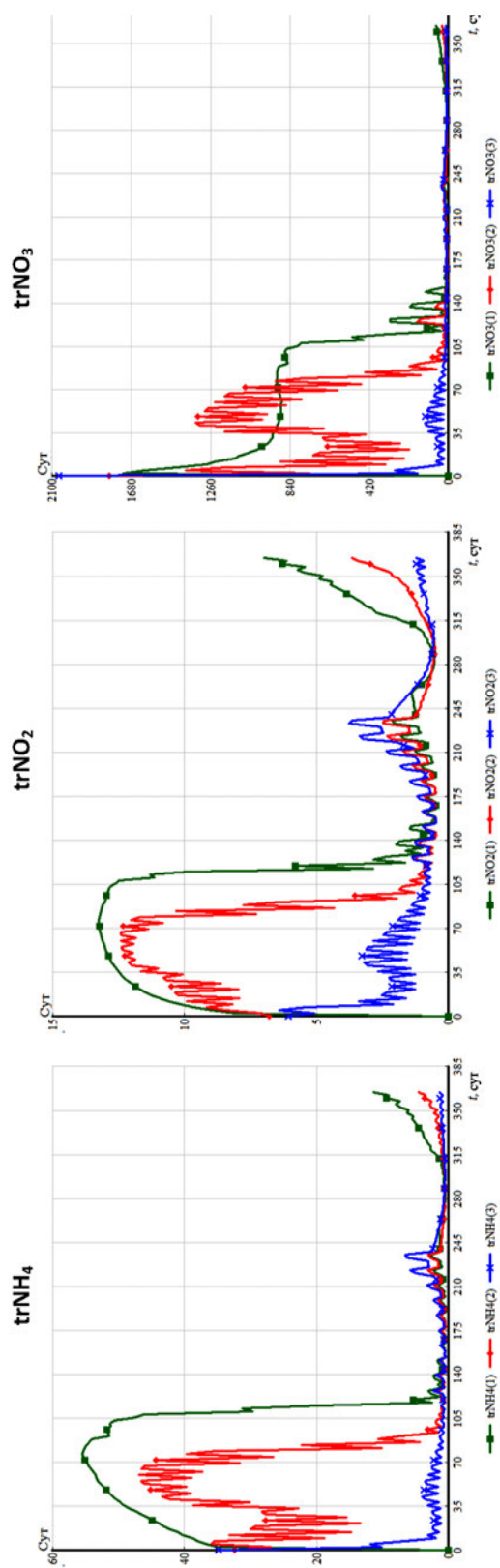


Рис. 35. Изменение расчетного времени оборота концентраций NH_4 , NO_2 и NO_3 в водах районов 1–3

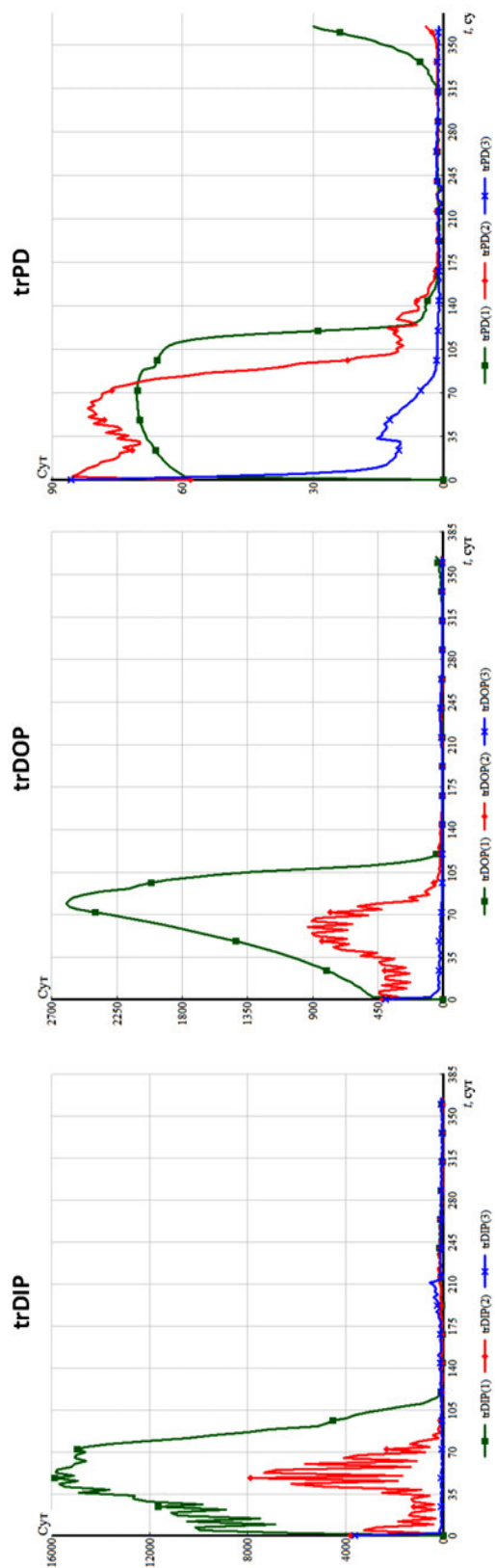


Рис. 36. Изменение расчетного времени оборота концентрации DIP, DOP и PD в водах районов 1–3

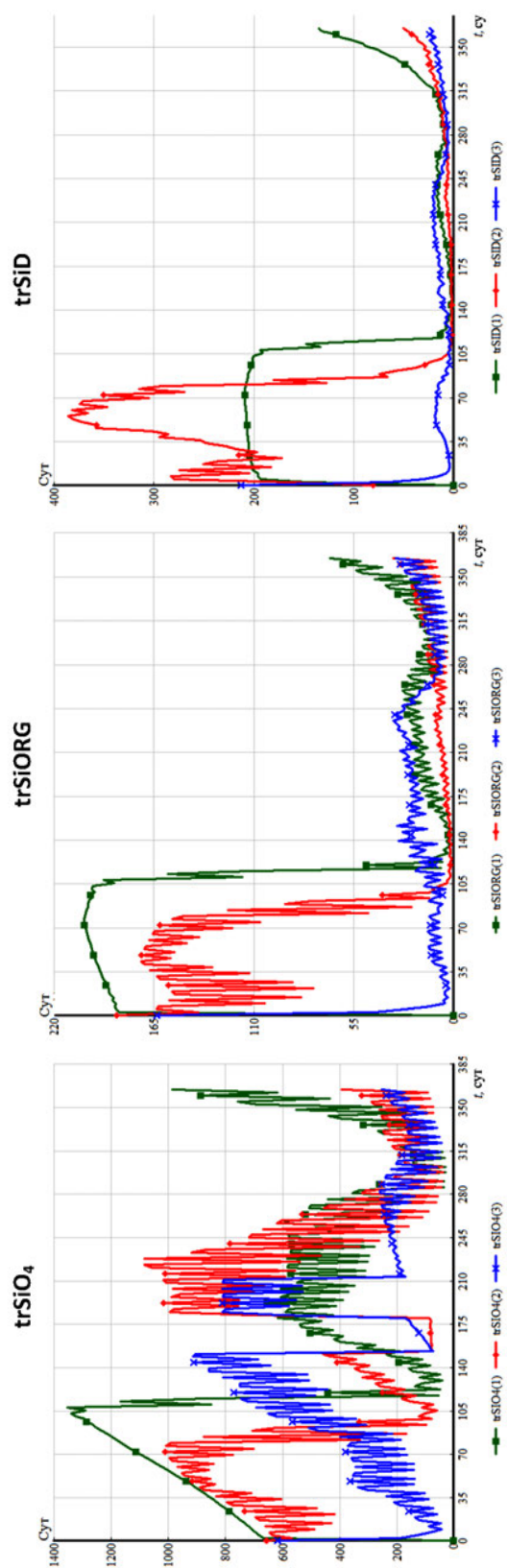


Рис. 37. Изменение расчетного времени оборота концентрации SiO_4 , SiORG и SiD в водах районов 1–3

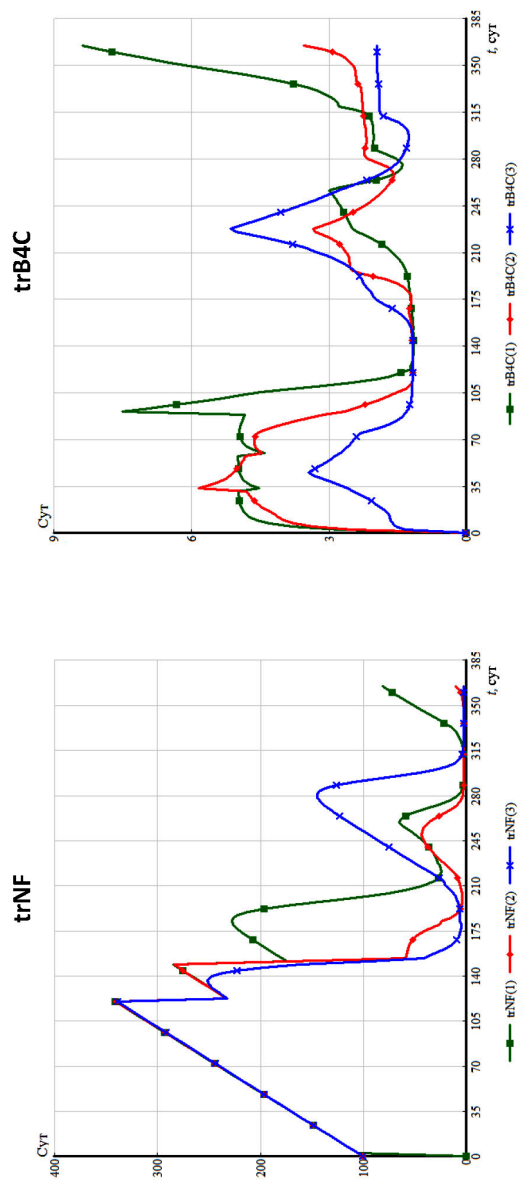


Рис. 38. Изменение значений времени оборота NF и биомасс бактерий B4C в районах I–3

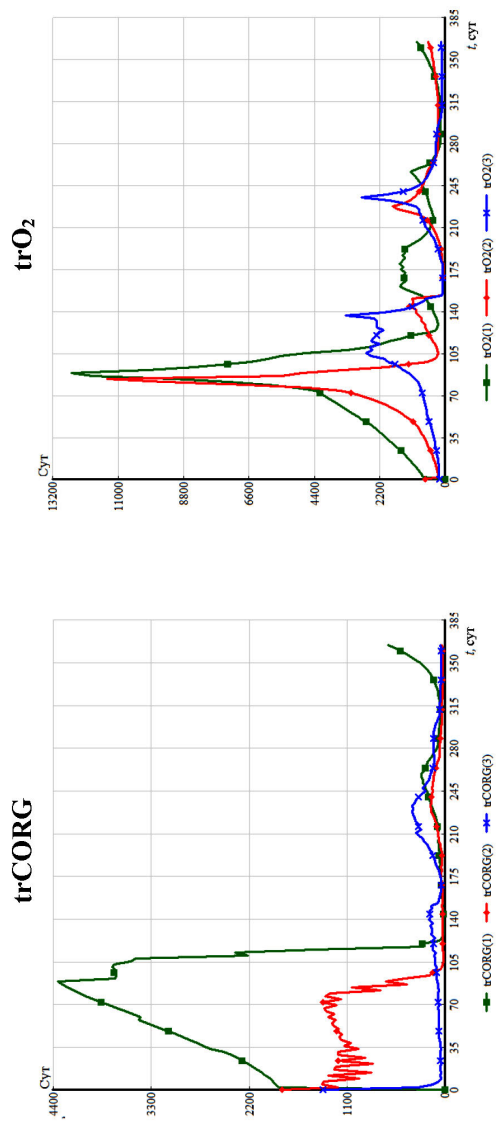


Рис. 39. Изменения расчетных значений времени оборота CORG и O2 в районах 1–3

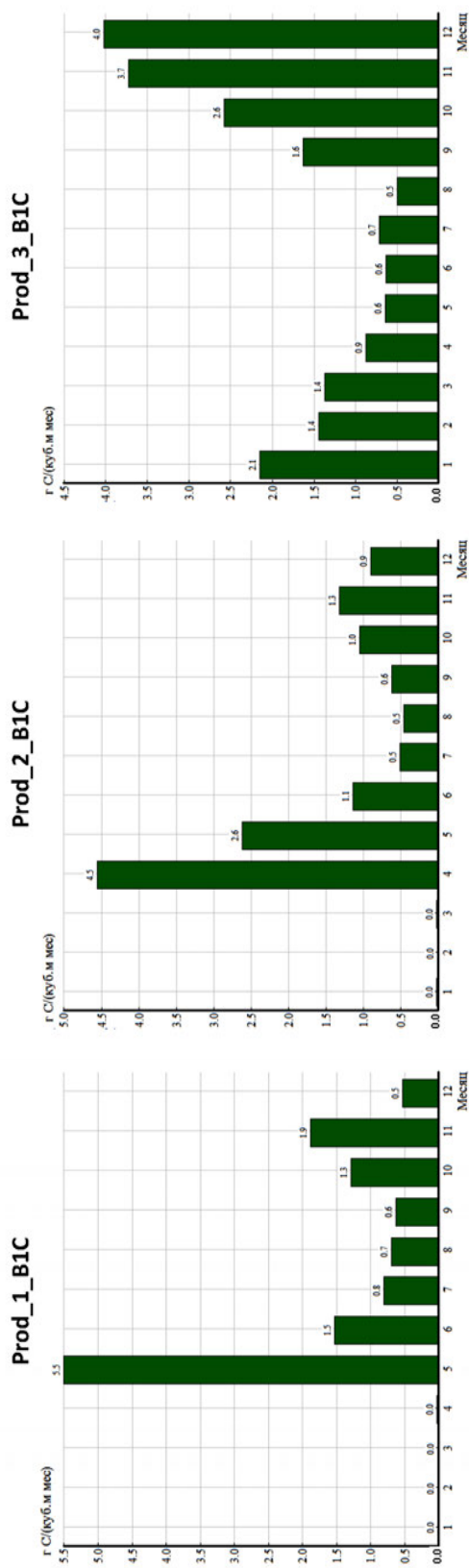


Рис. 40. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции гетеротрофных бактерий B1C в районах 1–3 Татарско-го прол.

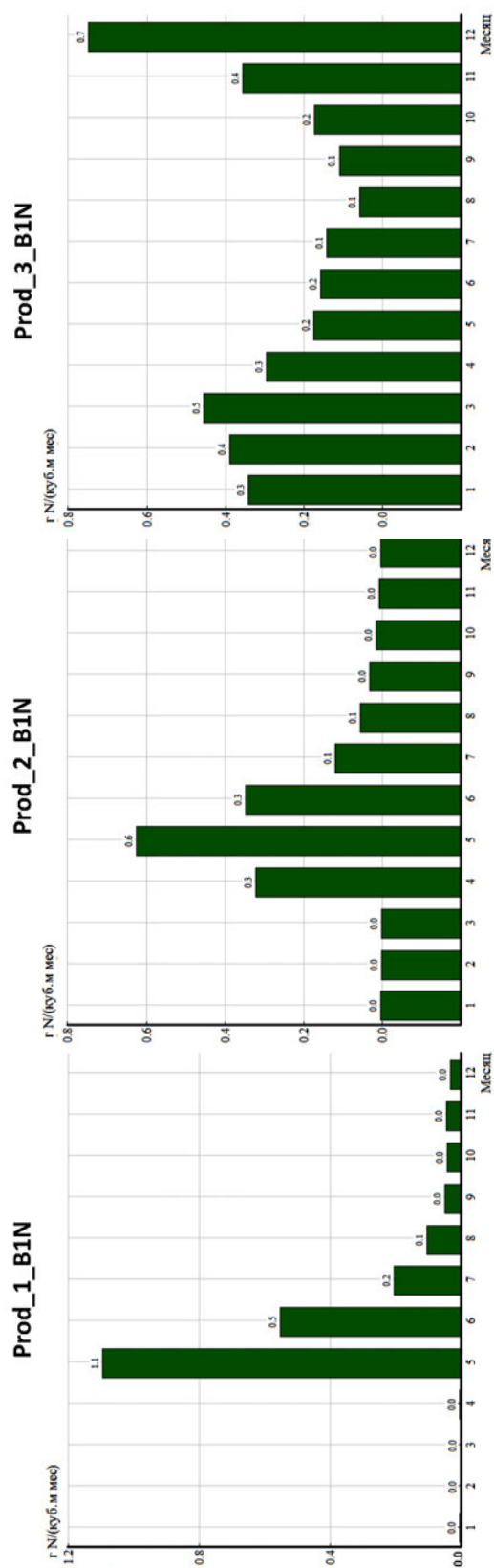


Рис. 41. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции гетеротрофных бактерий BIN в районах 1–3 Татарского прол.

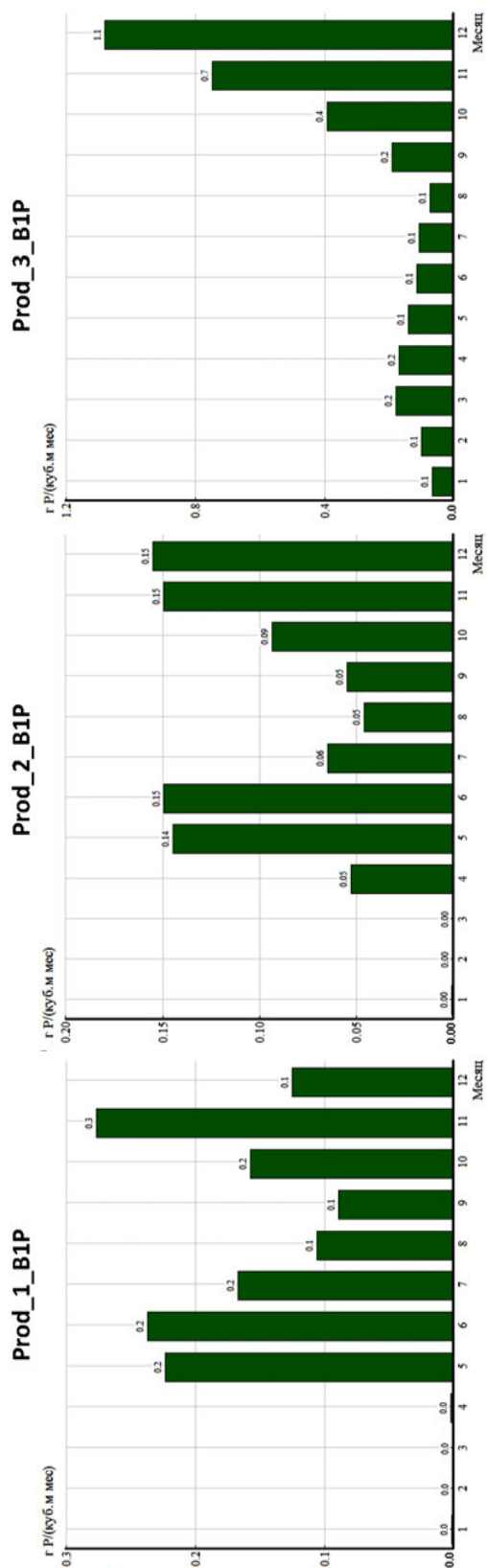


Рис. 42. Изменения расчетных значений общей продукции гетеротрофных бактерий B1P в районах 1–3 Татарского прол.

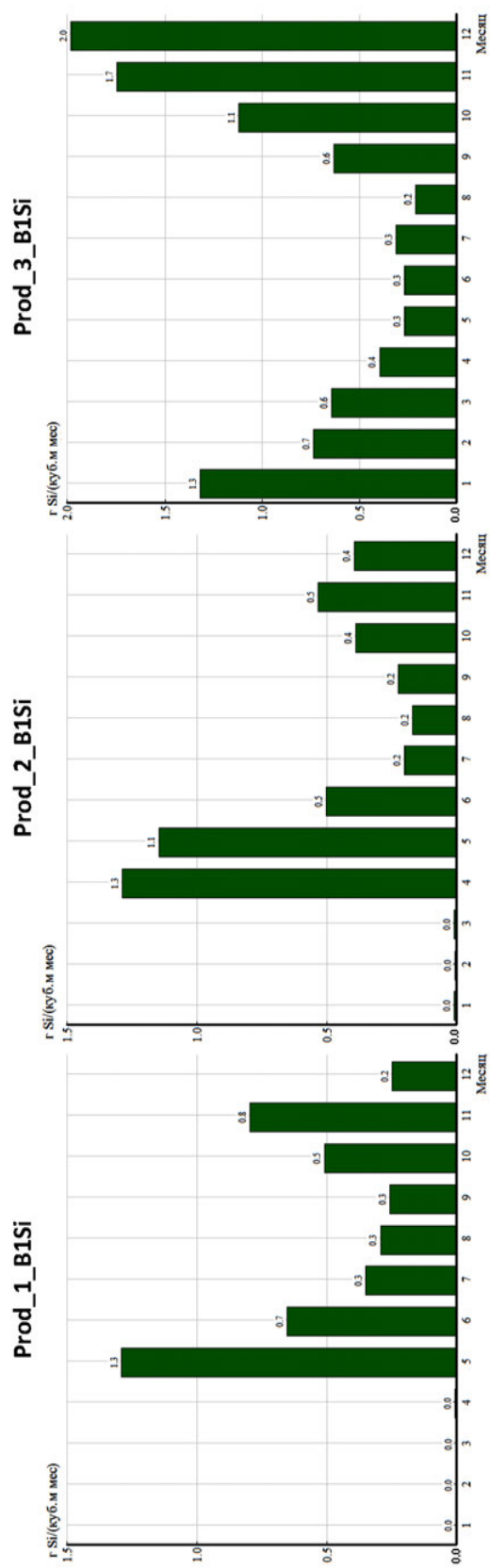


Рис. 43. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции гетеротрофных бактерий B1Si в районах 1–3 Татарского прол.

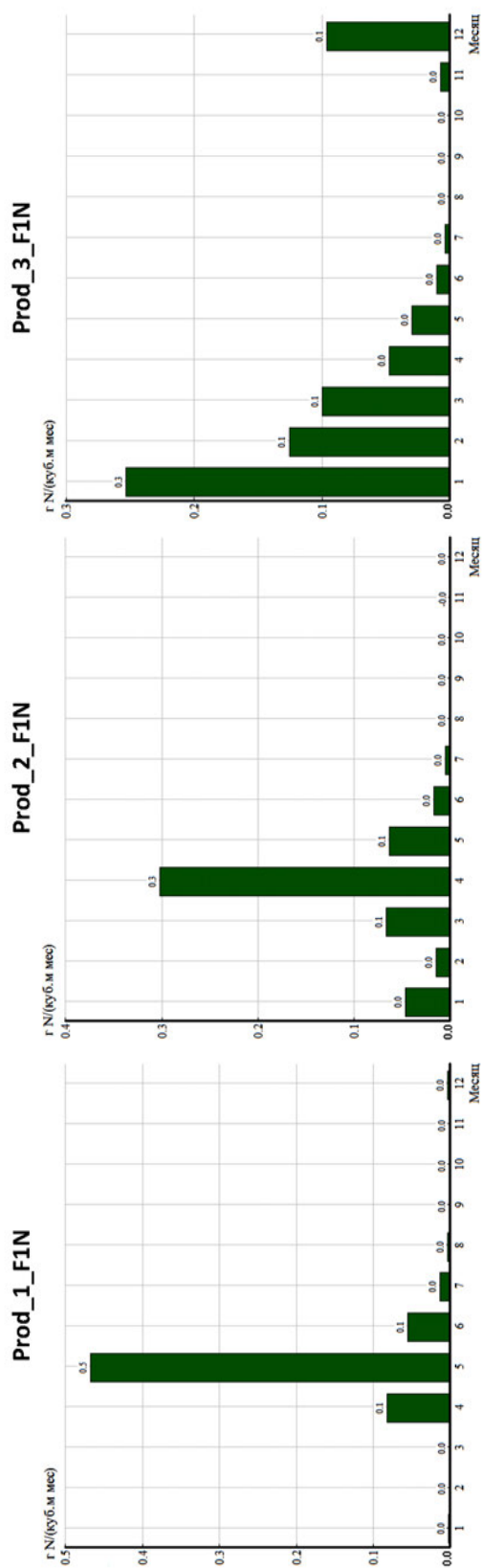


Рис. 44. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 1-й группы фитопланктона F1N в районах 1–3 Татарского прол.

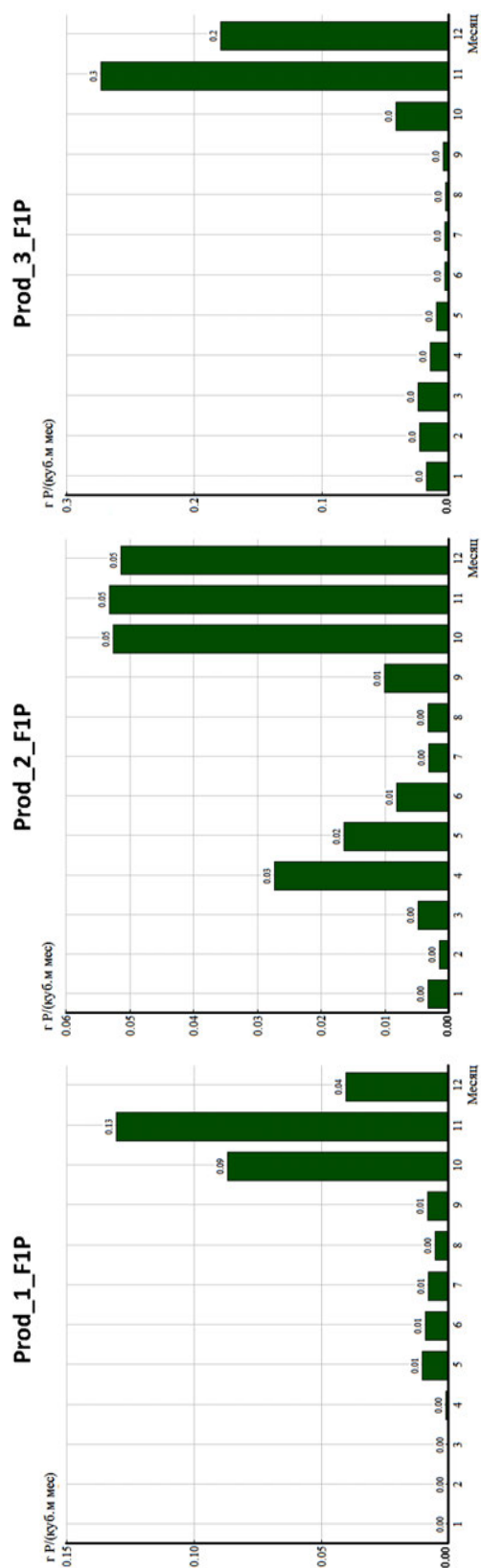


Рис. 45. Изменения расчетных значений общей продукции 1-й группы фитопланктона F1P в районах 1–3 Татарского прол.

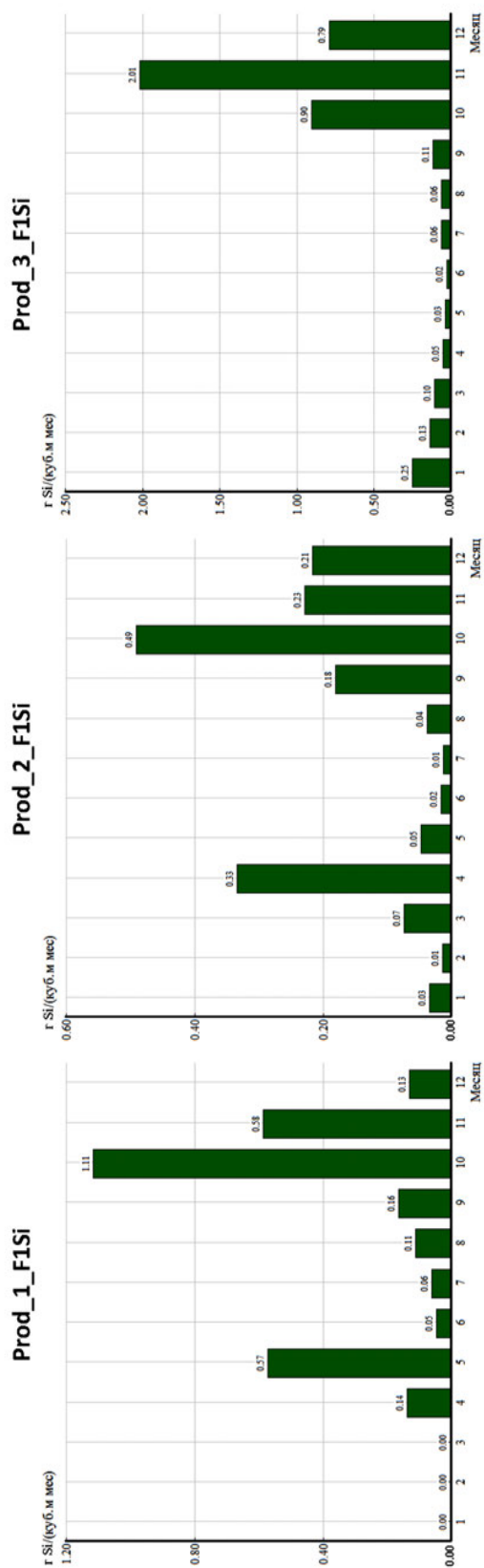


Рис. 46. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 1-й группы фитопланктона F1Si в районах 1–3 Татарского прол.

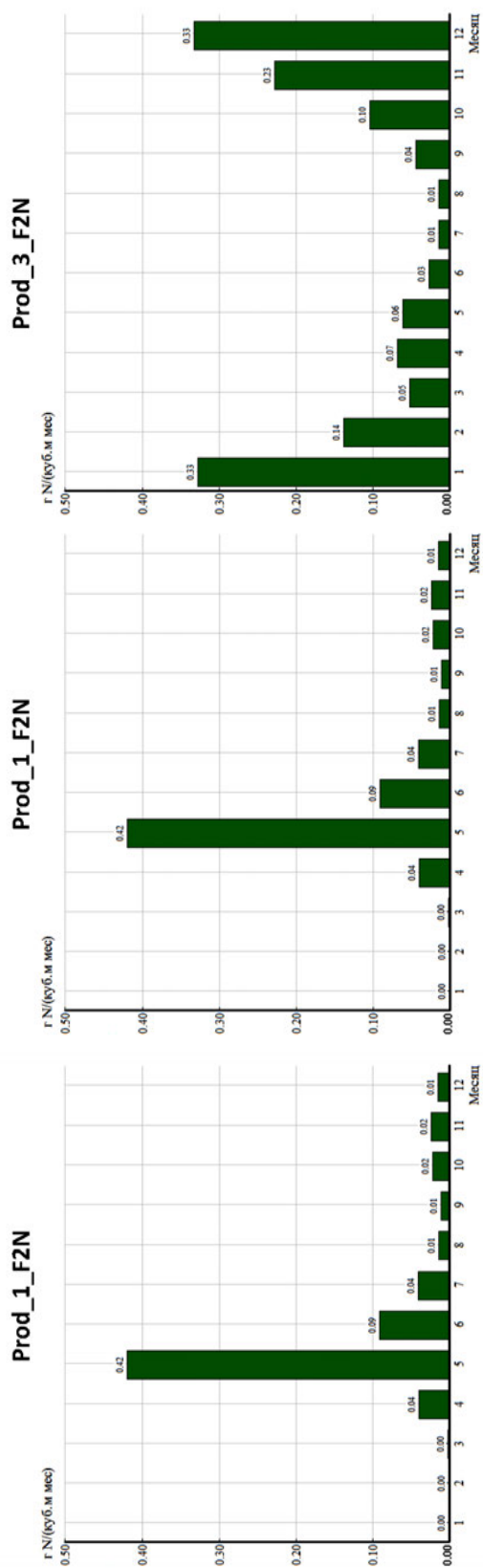


Рис. 47. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 2-й группы фитопланктона F2N в районах 1–3 Татарского прол.

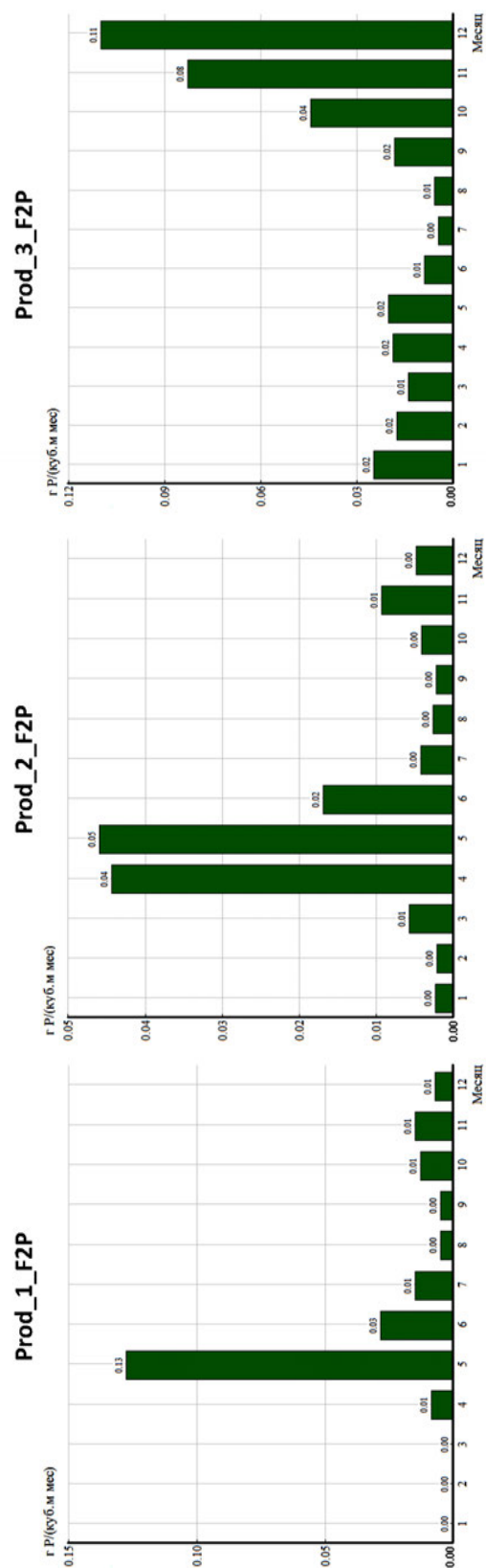


Рис. 48. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 2-й группы фитопланктона F2P в районах 1–3 Татарского прол.

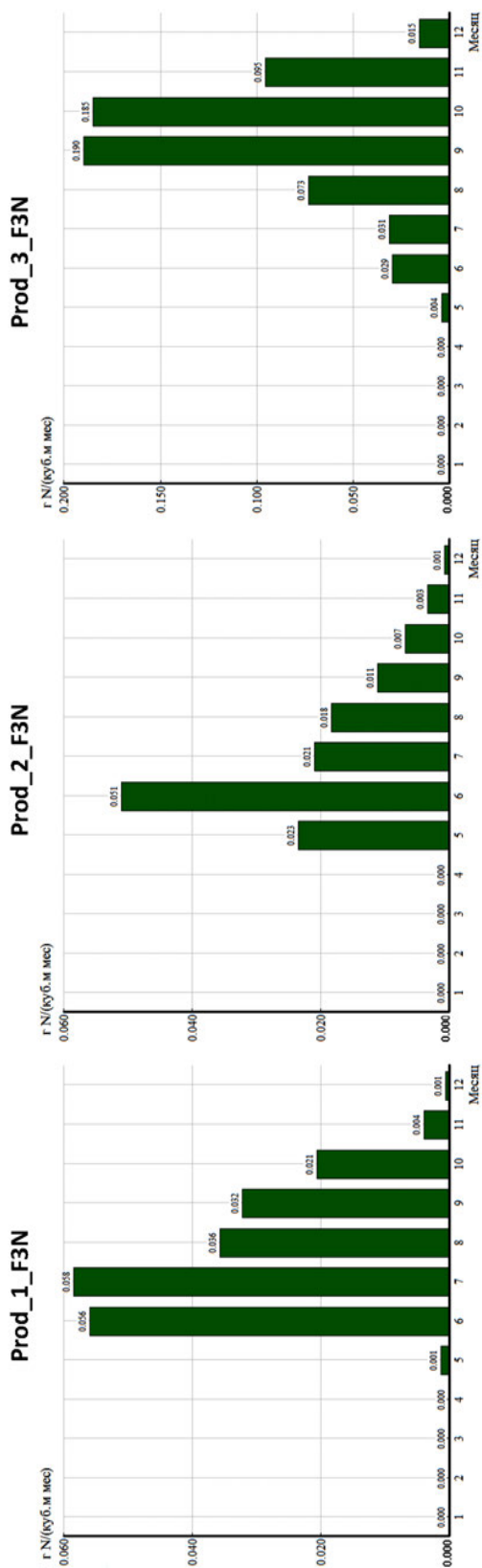


Рис. 49. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 3-й группы фитопланктона F3N в районах 1–3 Татарского прол.

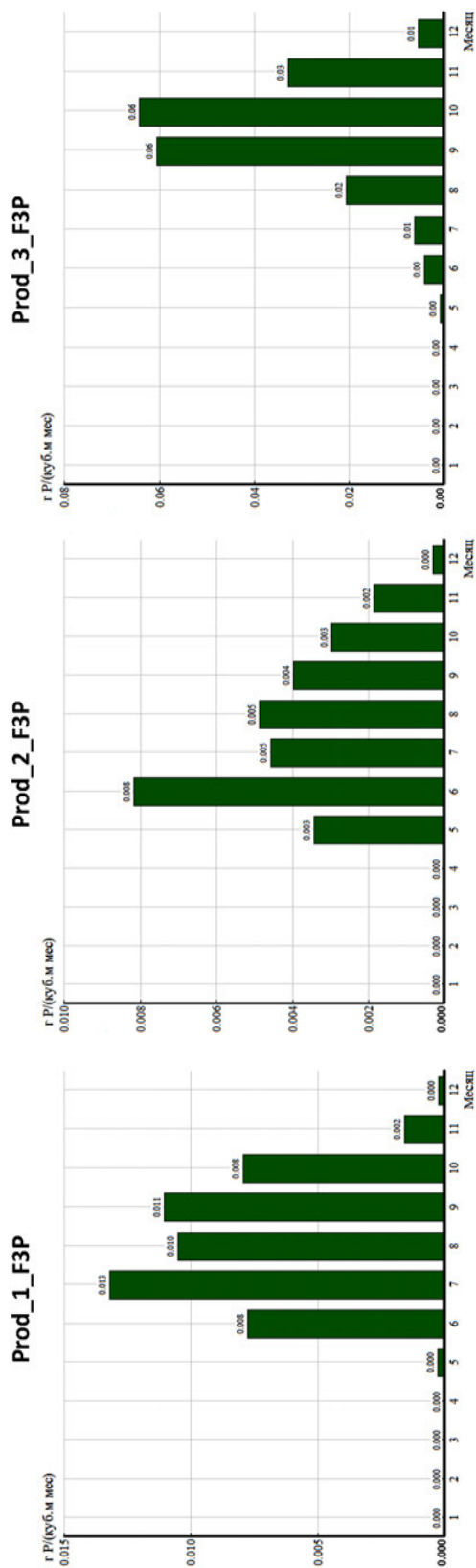


Рис. 50. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции 3-й группы фитопланктона F3P в районах 1–3 Татарского прол.

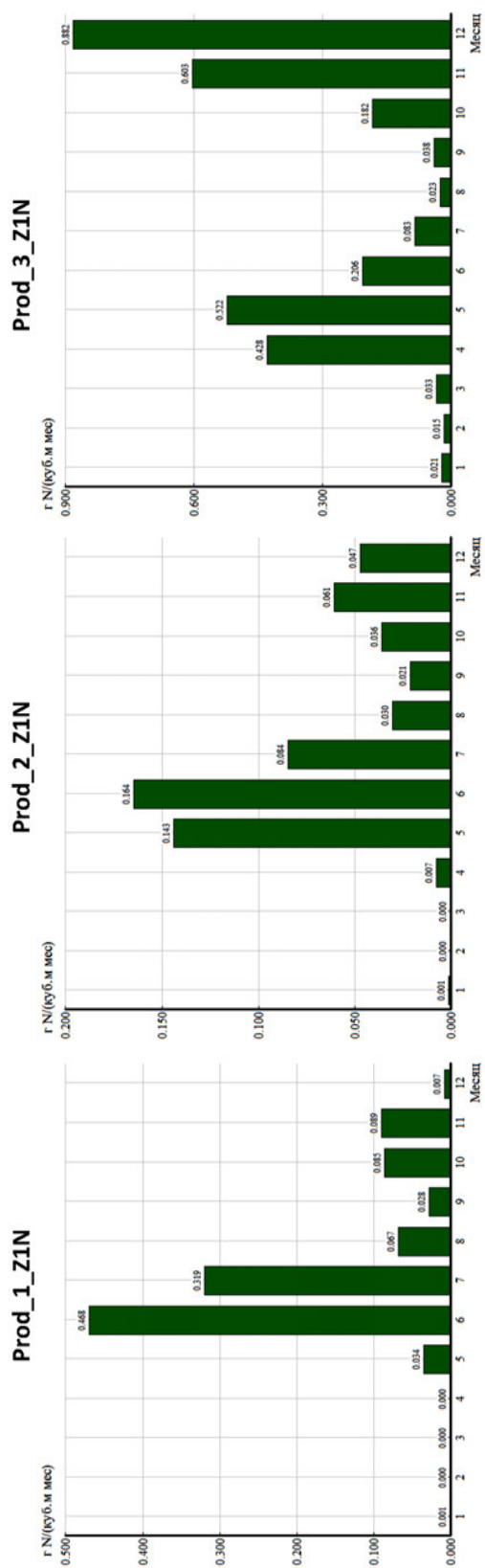


Рис. 51. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции растительного зоопланктона Z1N в районах 1–3 Татарского прол.

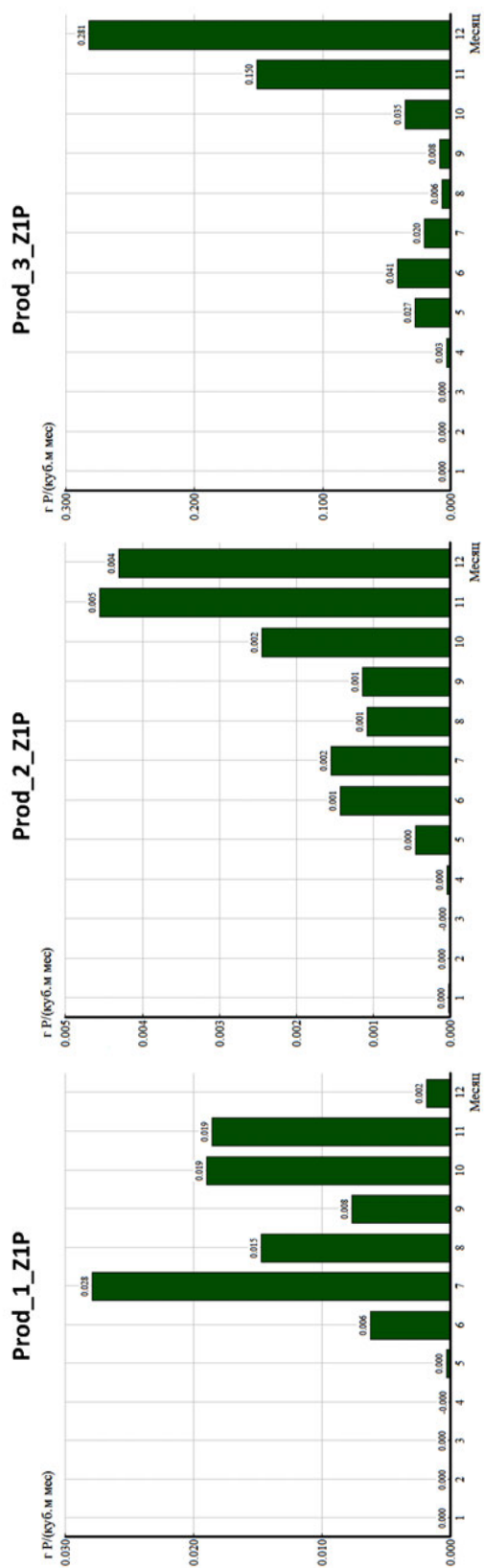


Рис. 52. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции растительного зоопланктона Z1P в районах 1–3 Татарского прол.

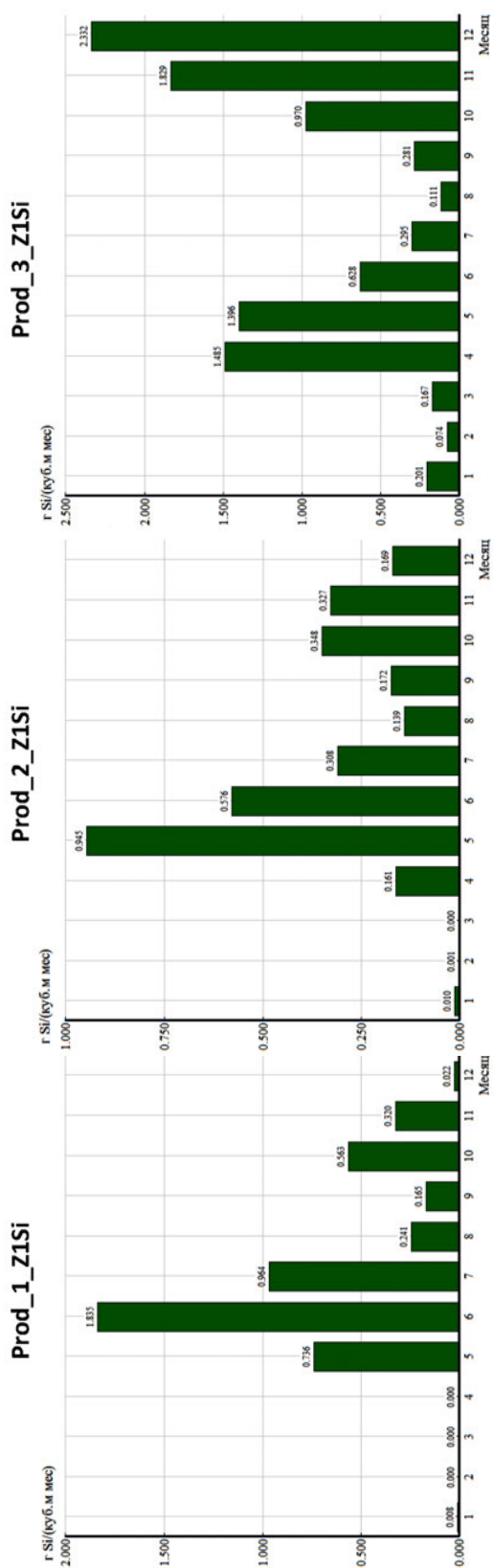


Рис. 53. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции растительного зоопланктона Z1Si в районах 1–3 Татарского прол.

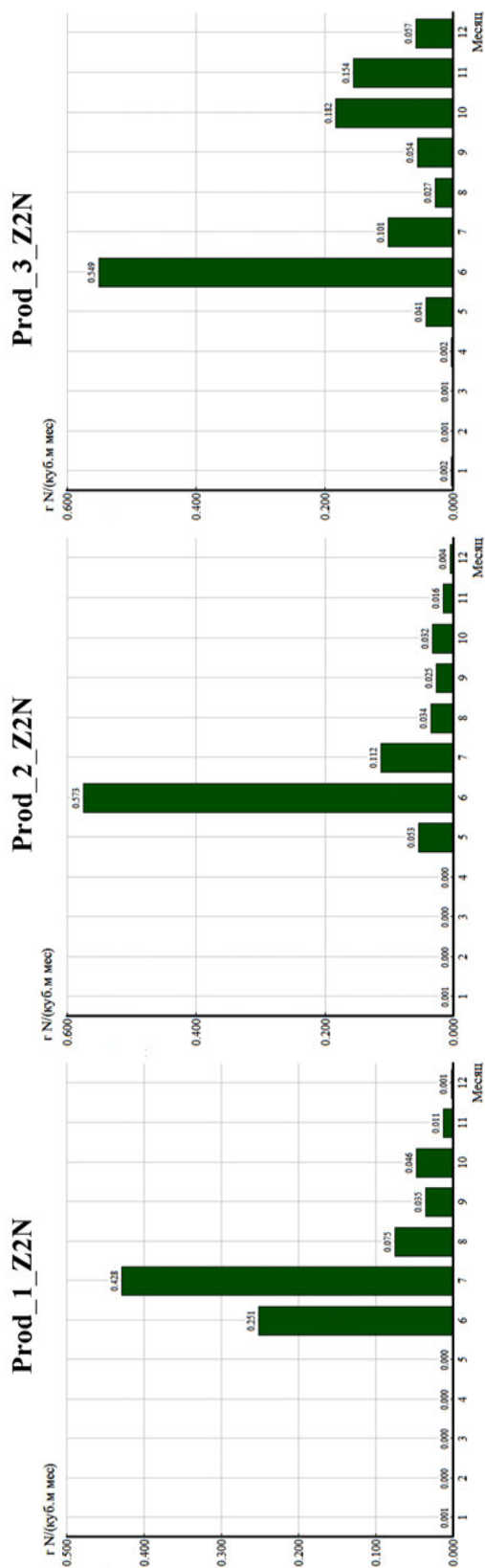


Рис. 54. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции растительного зоопланктона Z2N в районах 1–3 Татарского прол.

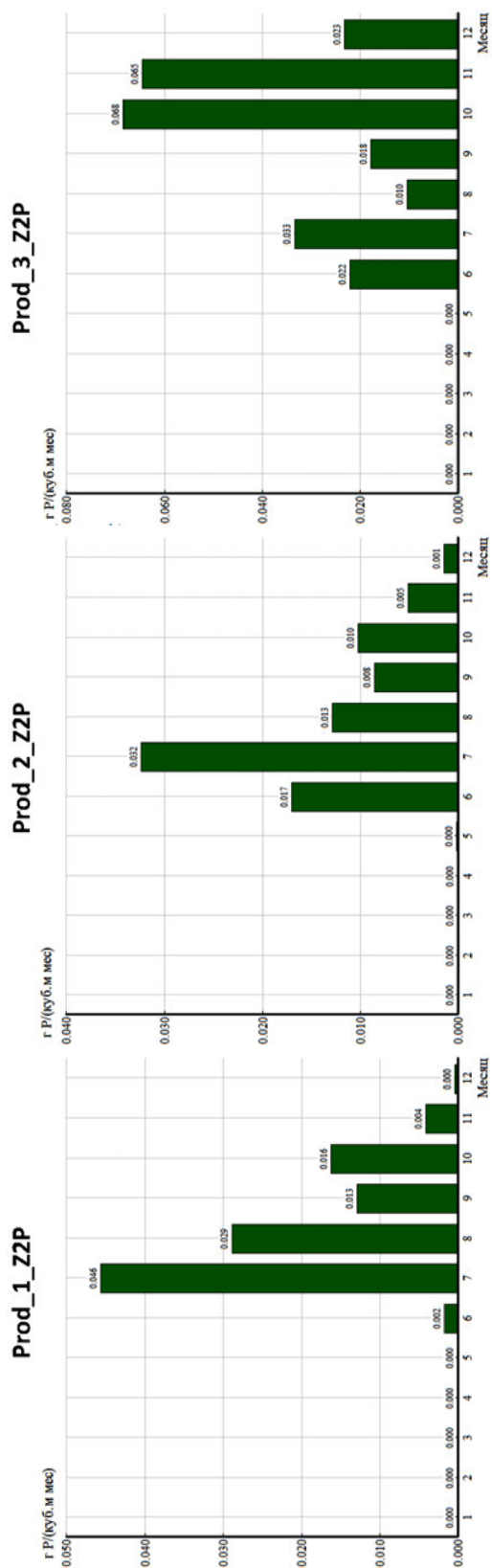


Рис. 55. *Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции растительного зоопланктона Z2P в районах 1–3 Татарского прол.*

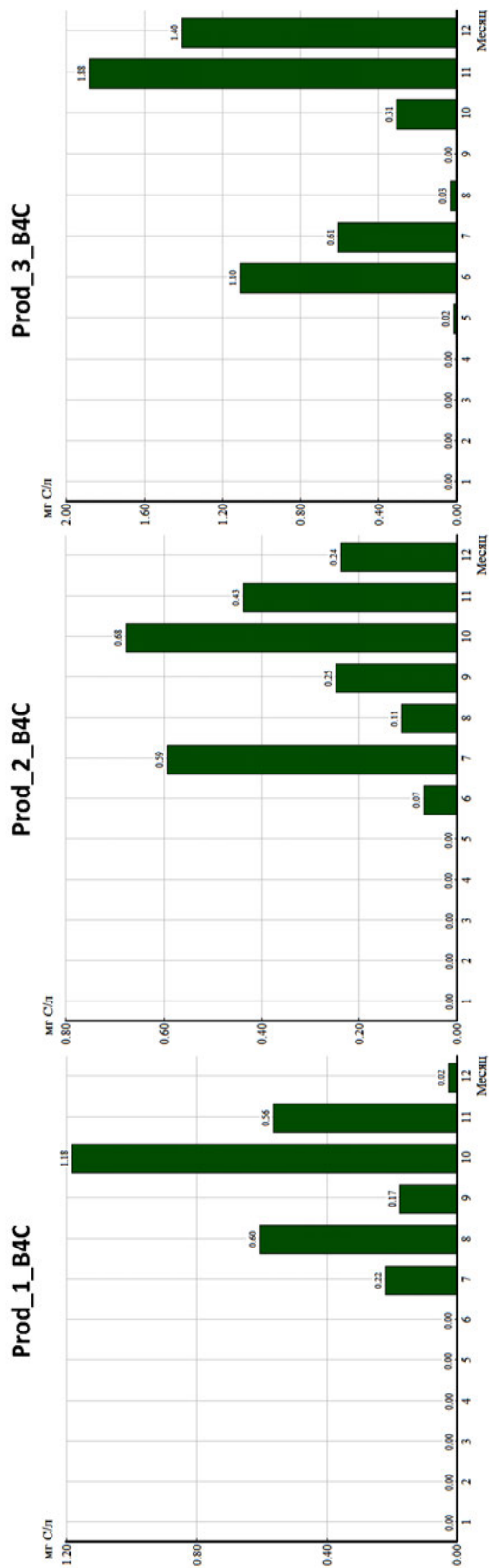


Рис. 56. Изменения расчетных ежемесячных значений общей продукции NF-окисляющих бактерий B4C в районах 1–3 Татарского прол.

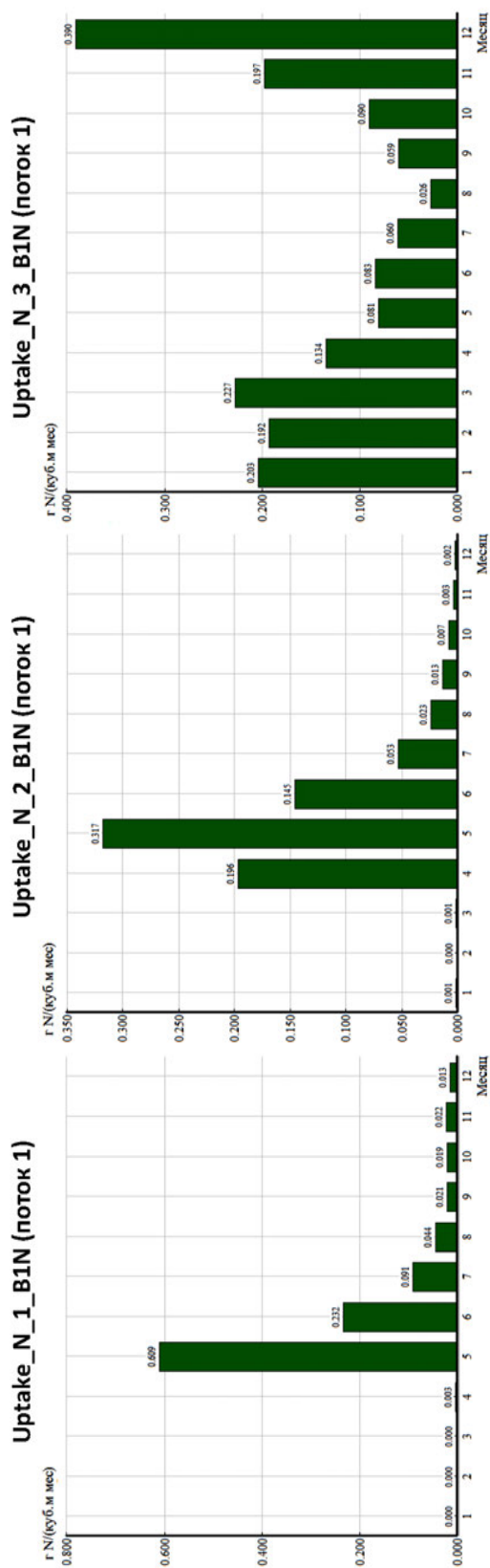


Рис. 57. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N гетеротрофными бактериями B1N в районах 1–3 Татарского прол.

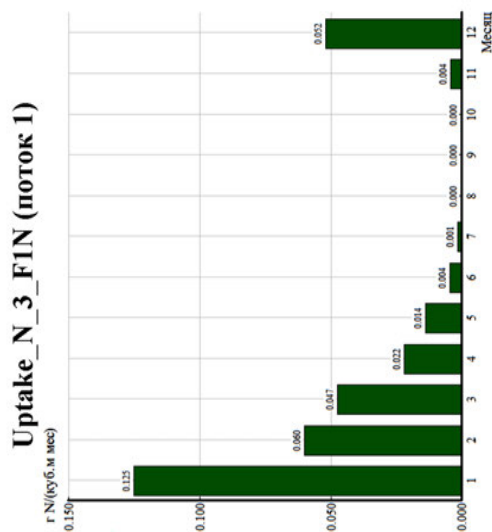
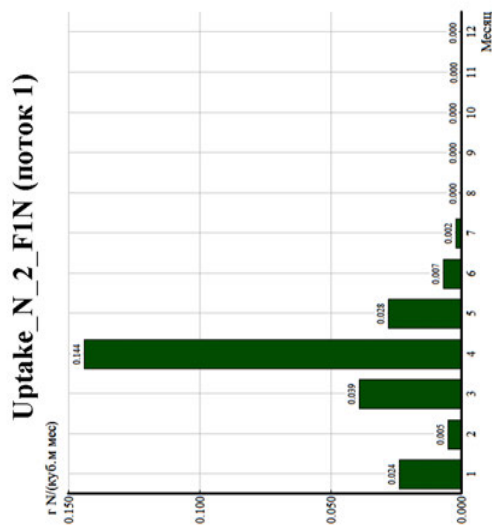
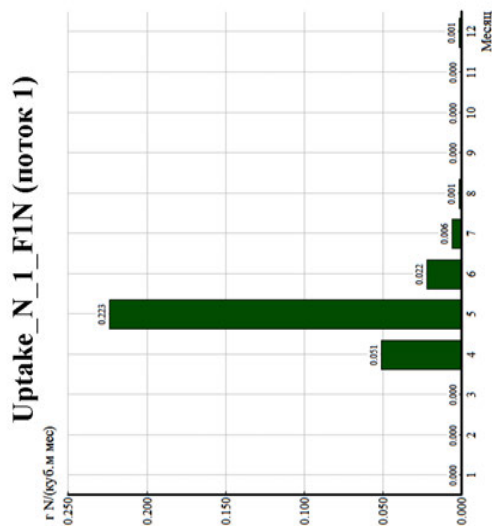


Рис. 58. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N I-й группой фитопланктона FIN в районах 1–3 Татарского прол.

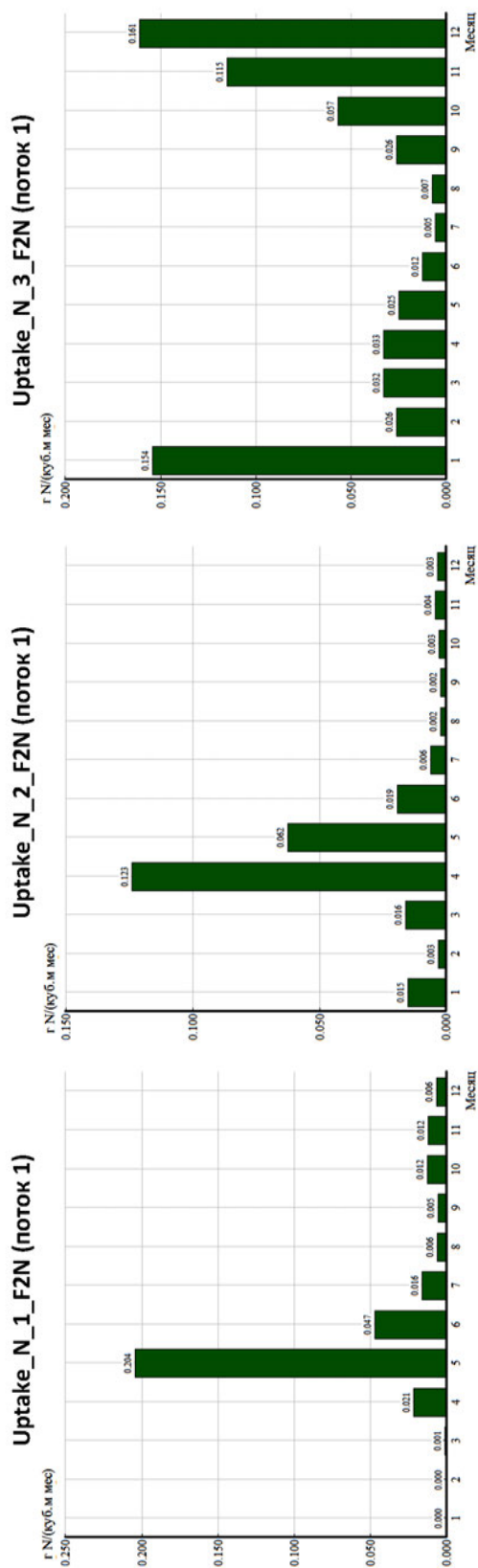


Рис. 59. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N 2-й группой фитопланктона F2N в районах 1–3 Татарского прол.

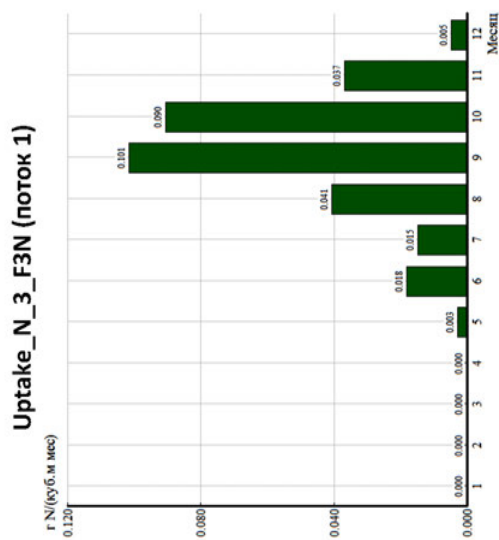
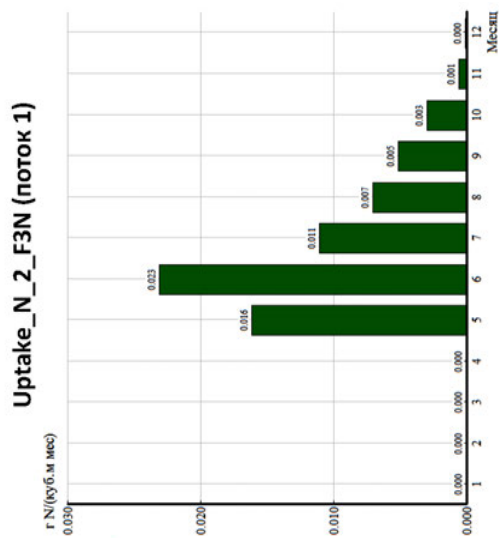
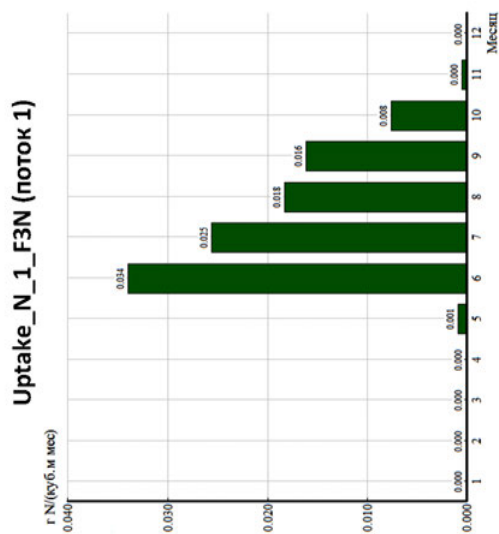


Рис. 60. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N 3-й группой фитопланктона F3N в районах I–3 Татарского прол.

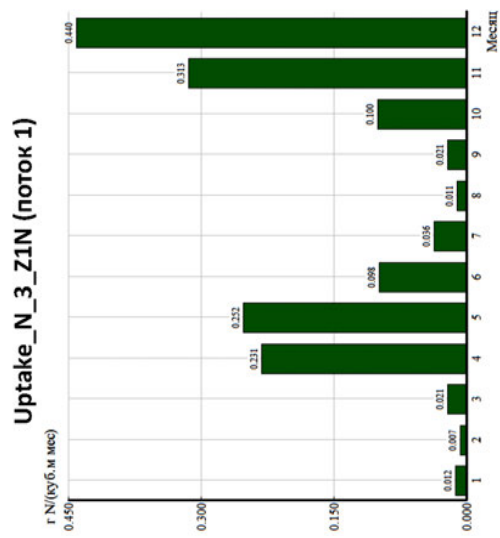
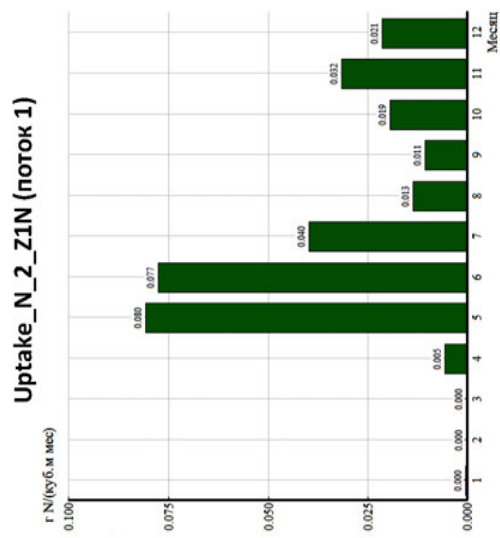
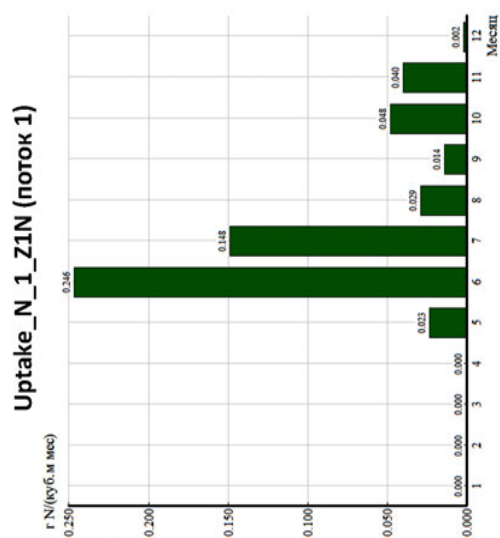


Рис. 61. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N растительной зоопланктоном $Z1N$ в районах 1–3 Татарского прол.

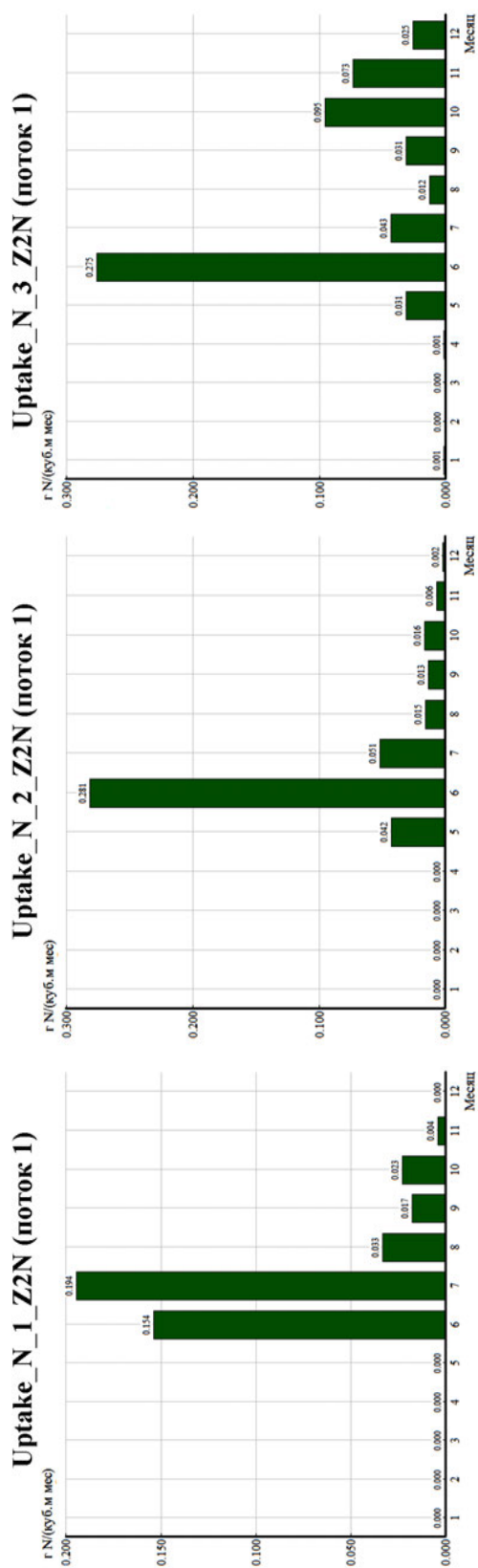


Рис. 62. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления N хищным зоопланктоном $Z2N$ в районах 1–3 Татарского прол.

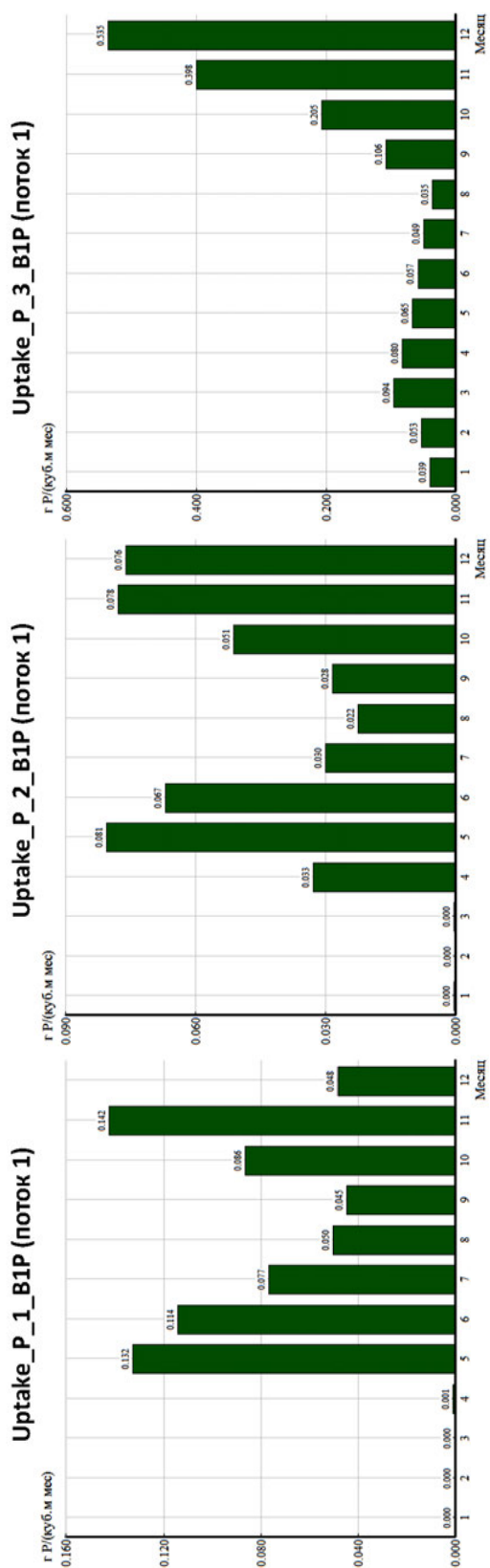


Рис. 63. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления *R* гетеротрофными бактериями *B1P* в районах 1–3 Татарского прол.

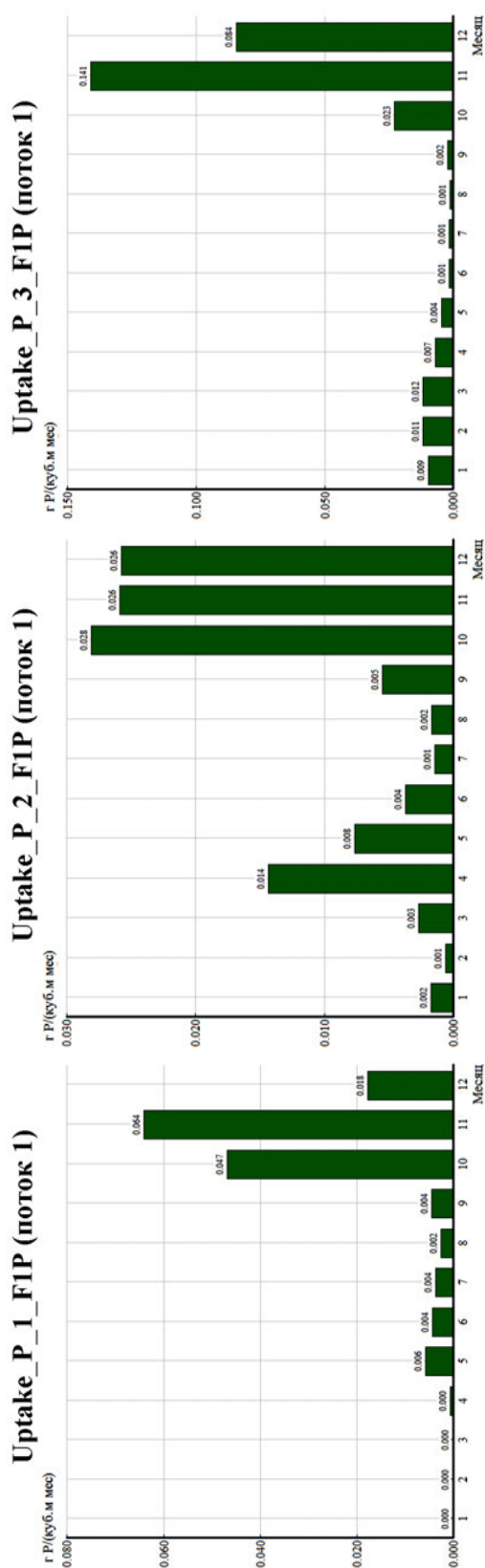
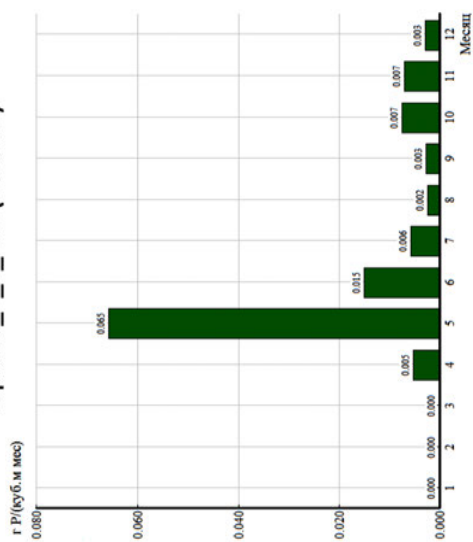
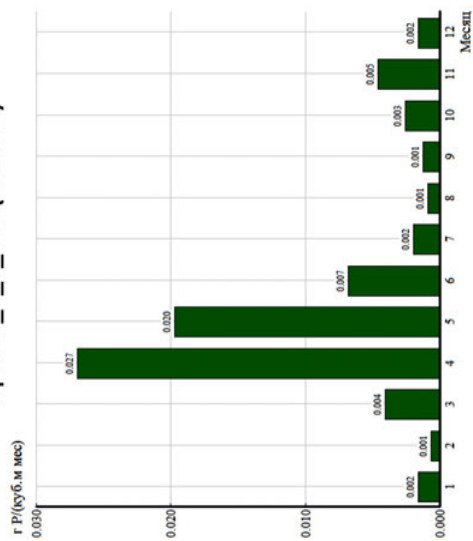


Рис. 64. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления P 1-й группой фитопланктона F1P в районах 1–3 Татарского прол.

Uptake_P_1_F2P (поток 1)



Uptake_P_2_F2P (поток 1)



Uptake_P_3_F2P (поток 1)

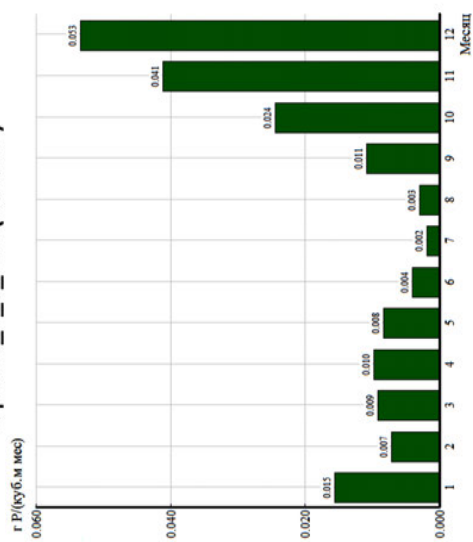


Рис. 65. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления Р 2-й группой фитопланктона F2P в районах 1–3 Татарского прол.

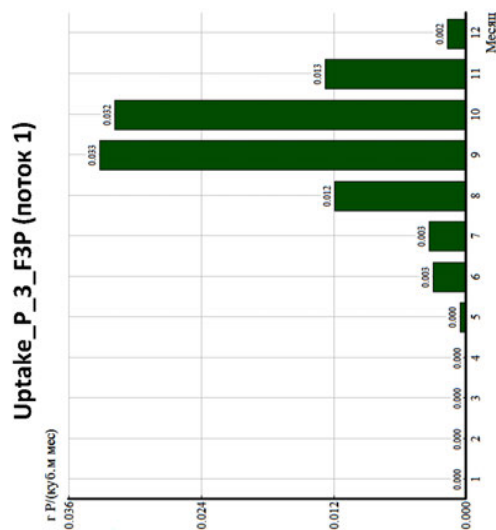
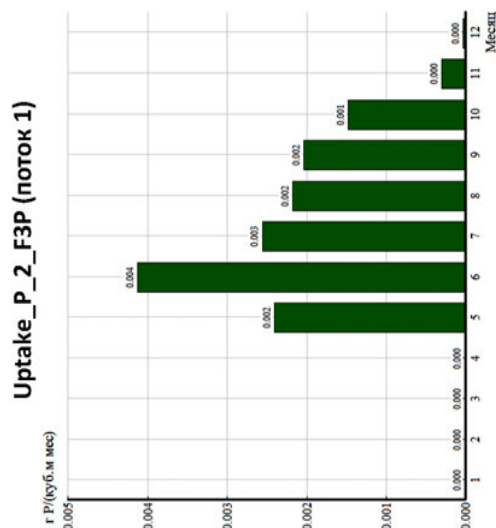
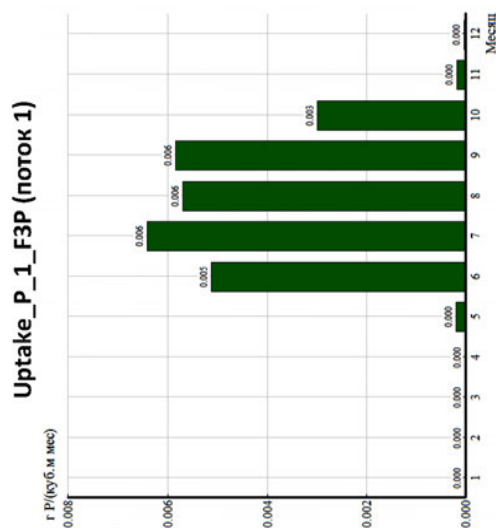
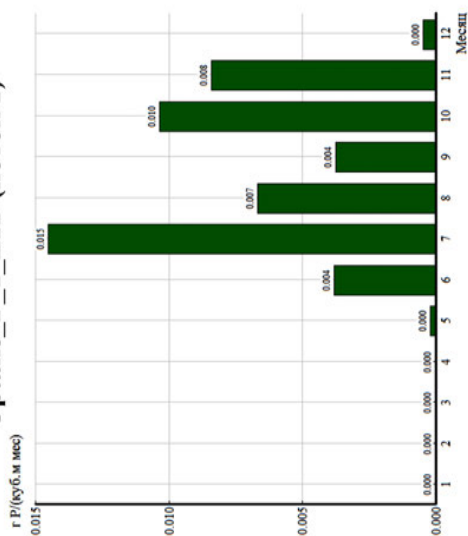
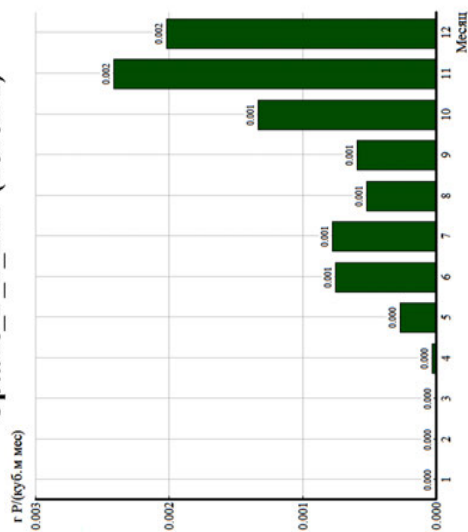


Рис. 66. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления P 3-й группой фитопланктона F3P в районах 1–3 Татарского прол.

Uptake_P_1_Z1P (поток 1)



Uptake_P_2_Z1P (поток 1)



Uptake_P_3_Z1P (поток 1)

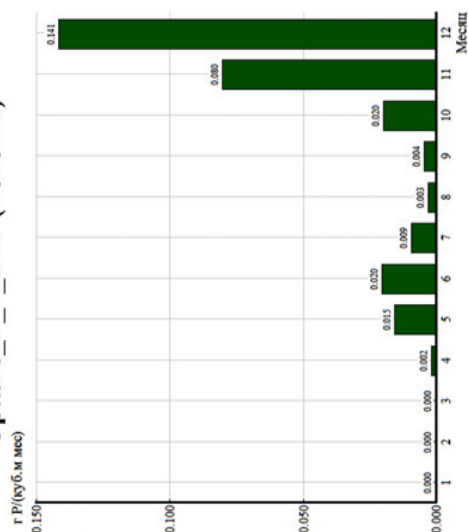


Рис. 67. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления P растительным зоопланктоном $Z1P$ в районах 1–3 Татарского прол.

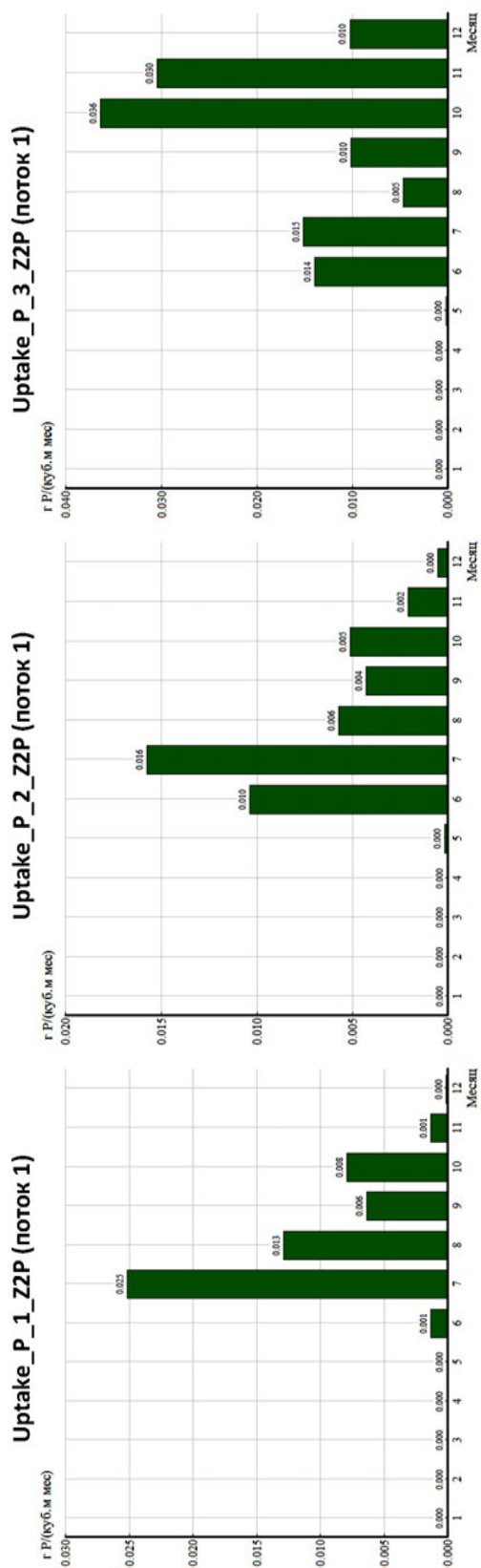


Рис. 68. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления P хйцным зоопланктоном Z2P в районах 1–3 Татарского прол.

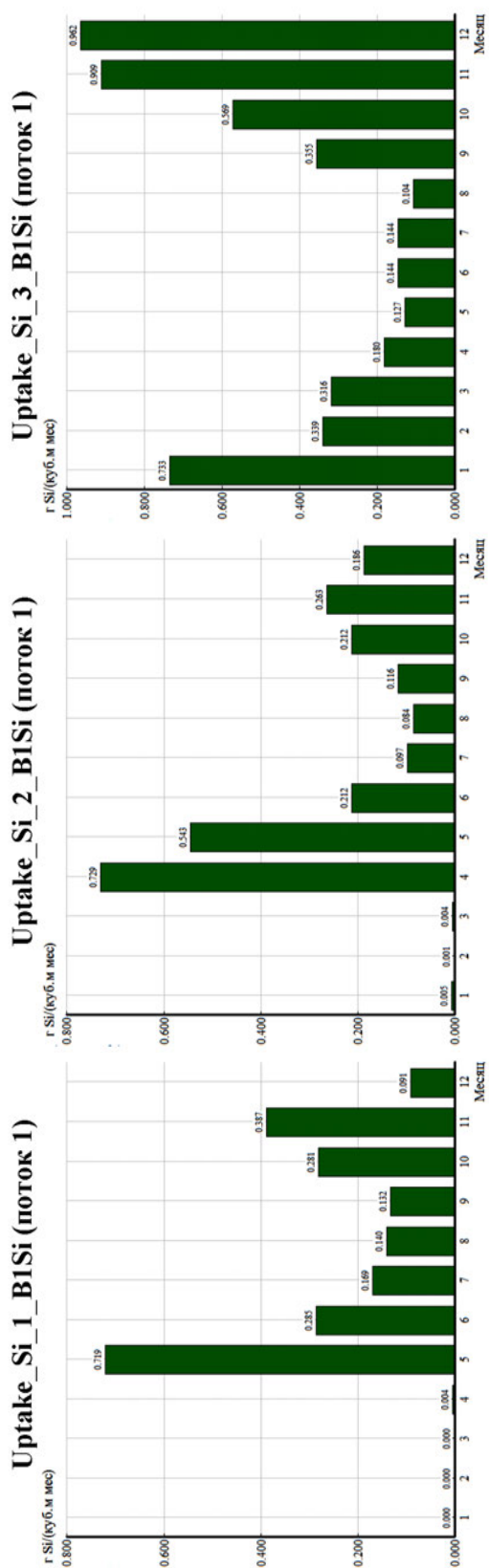


Рис. 69. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления Si гетеротрофными бактериями BiSi в районах 1–3 Татарского прол.

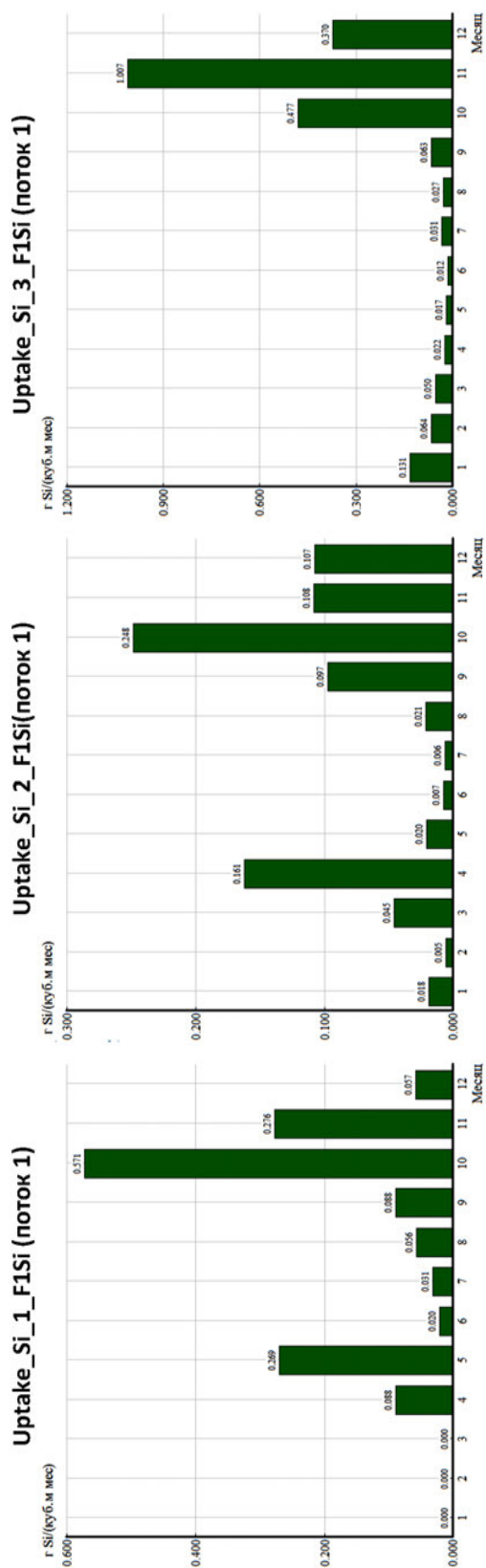
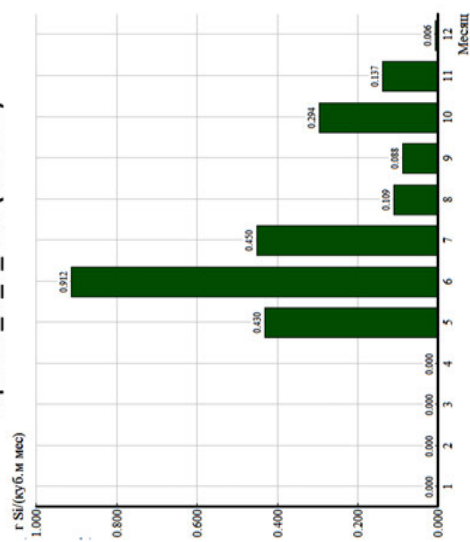
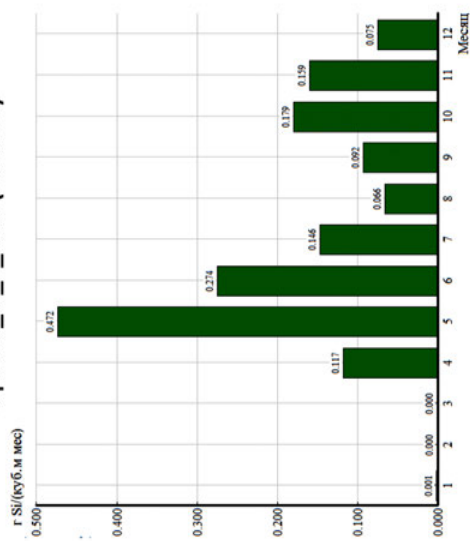


Рис. 70. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления Si 1-й группой фитопланктона F1Si в районах 1–3 Татарского прол.

Uptake_Si_1_Z1Si (поток 1)



Uptake_Si_2_Z1Si (поток 1)



Uptake_Si_3_Z1Si (поток 1)

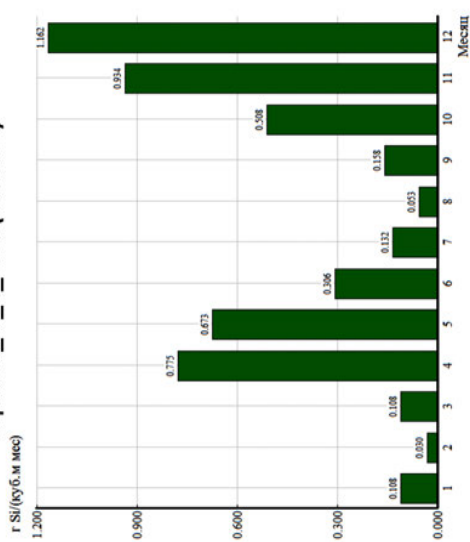


Рис. 71. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления Si растительным зоопланктоном Z1Si в районах 1–3 Татарского прол.

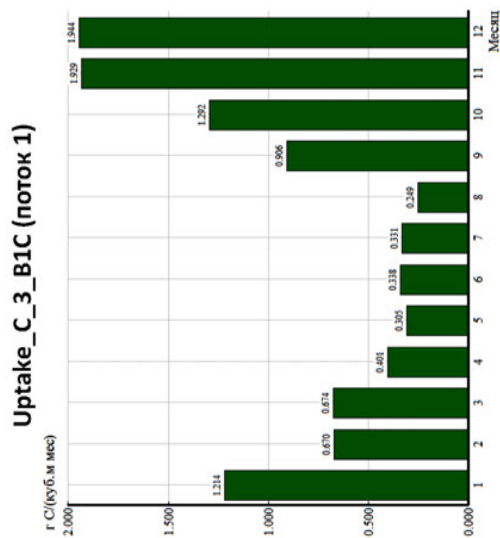
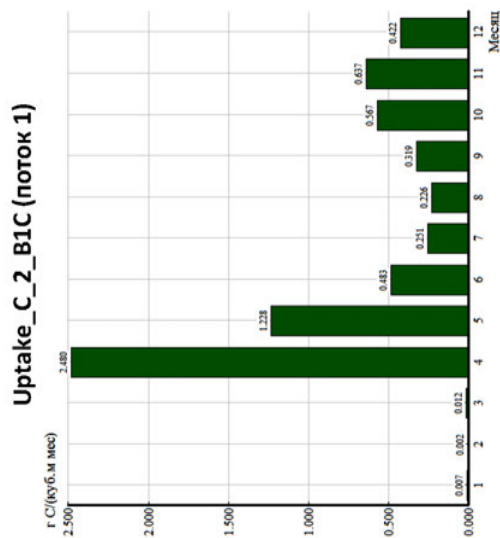
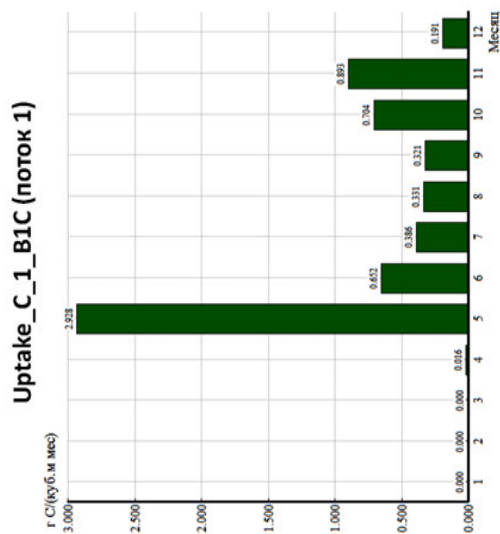


Рис. 72. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления *C* гетеротрофными бактериями *B1C* в районах 1–3 Татарского прол.

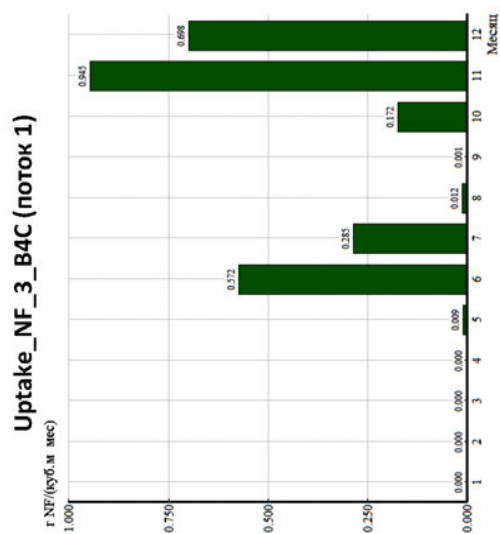
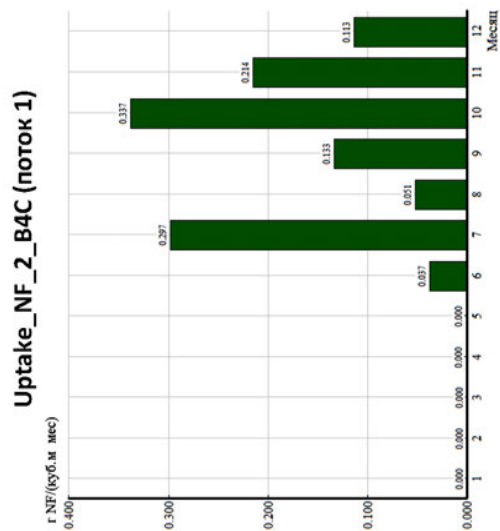
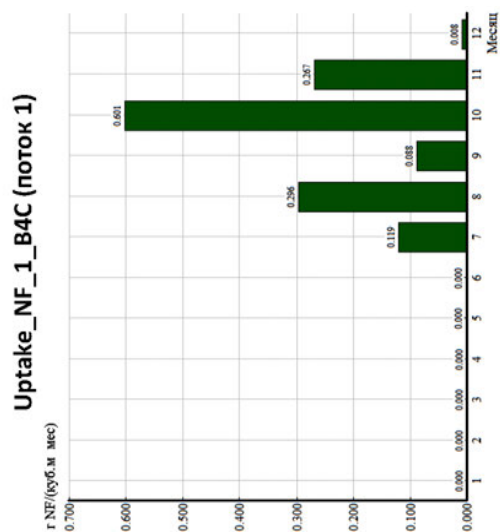


Рис. 73. Изменения расчетных значений ежемесячного потребления NF бактериями B4C в районах 1–3 Татарского прол.

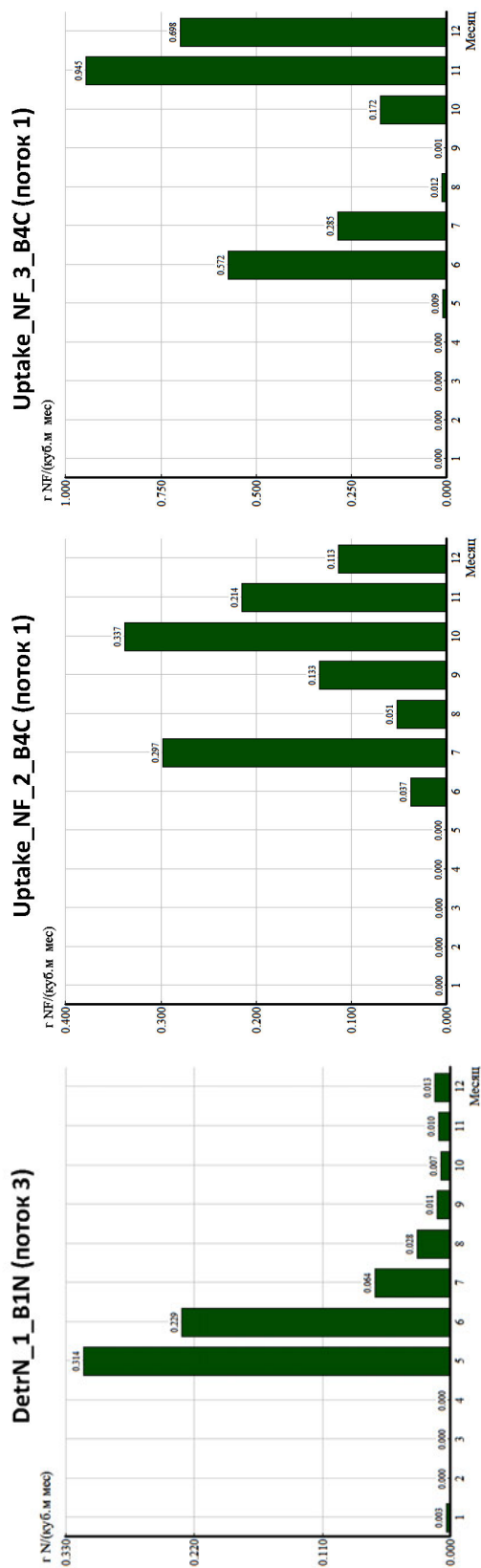


Рис. 74. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) гетеротрофными бактериями BIN в районах 1–3

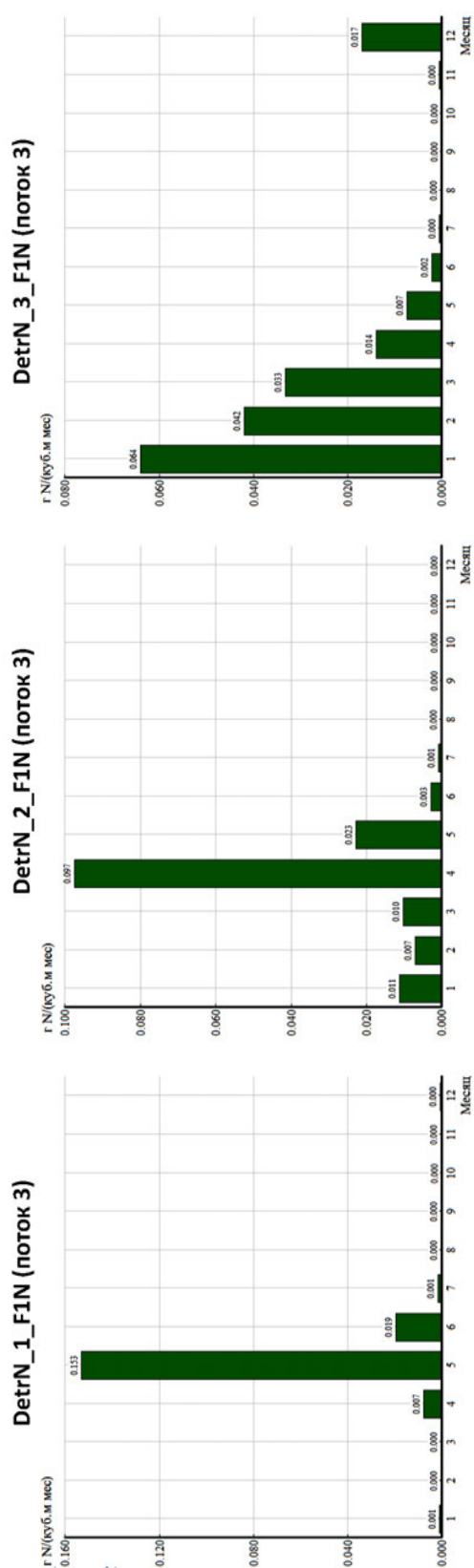


Рис. 75. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) I-й группой фитопланктона FIN в районах I–3

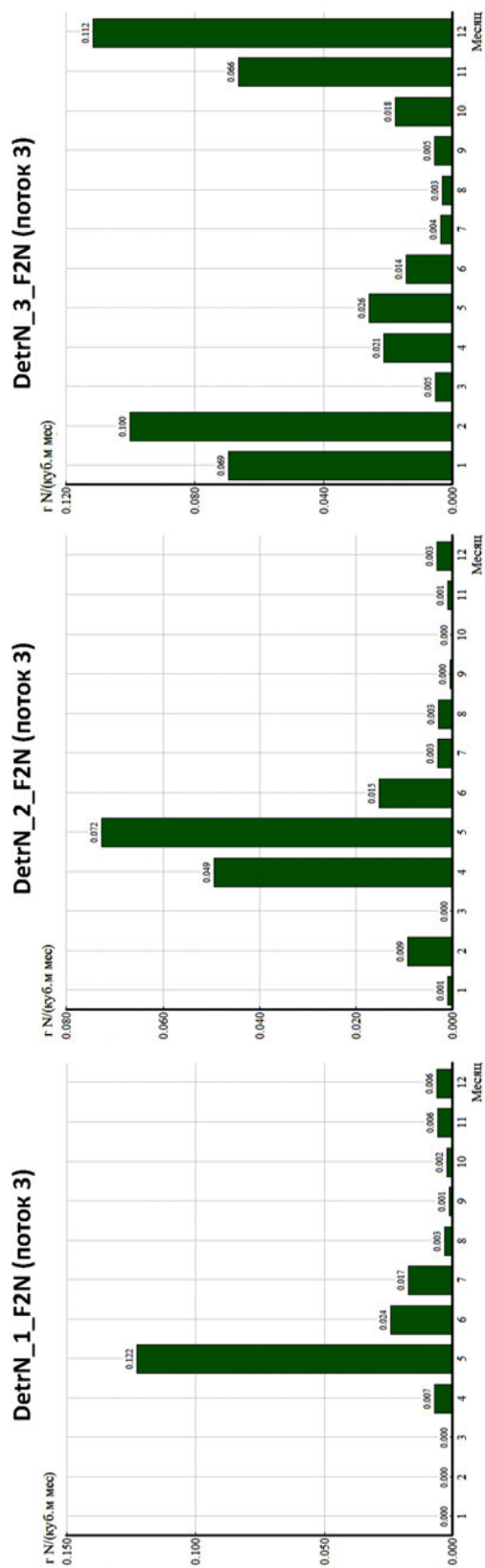


Рис. 76. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) 2-й группой фитопланктона F2N в районах 1–3

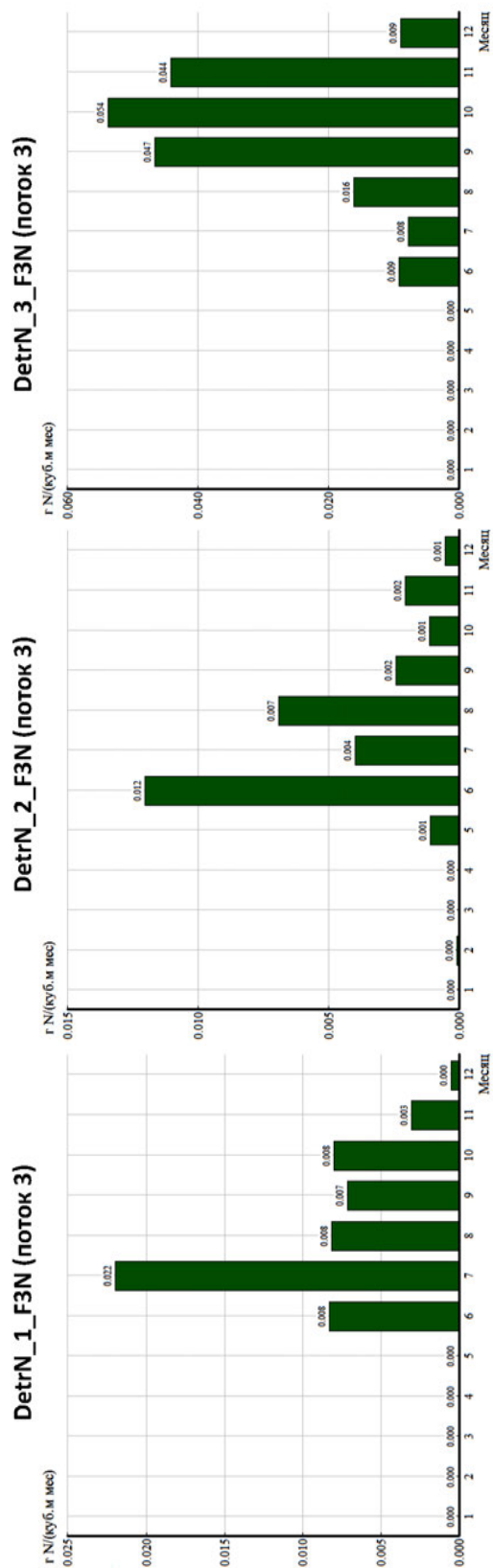


Рис. 77. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) 3-й группой фитопланктона F3N в районах 1–3

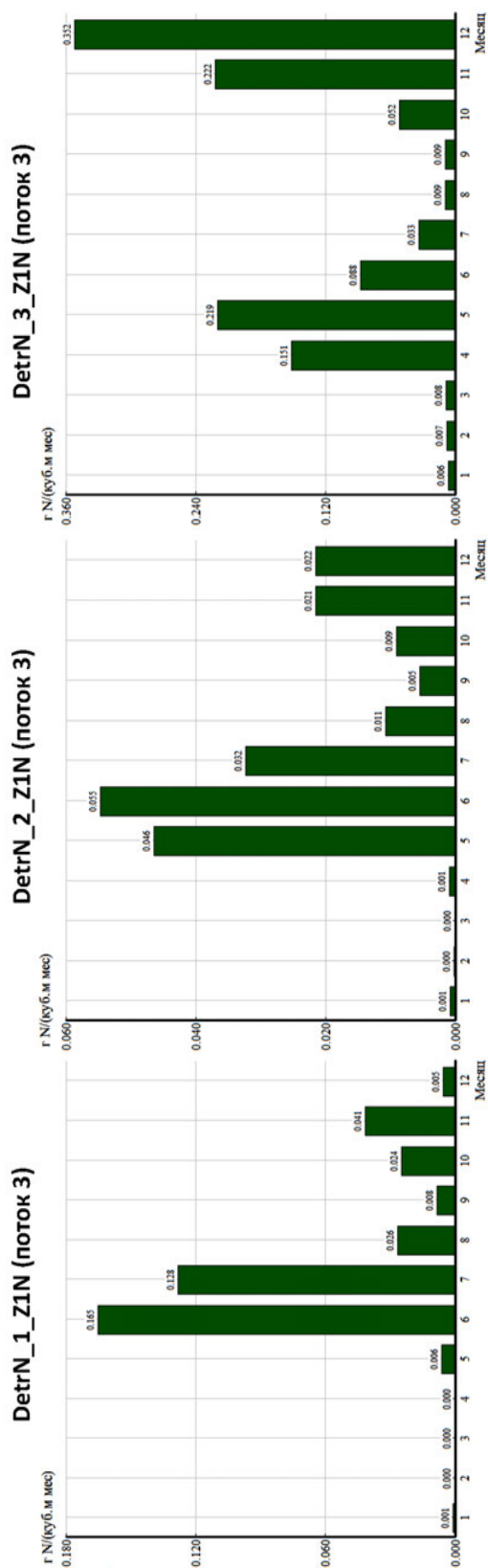


Рис. 78. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) растительноядным зоопланктоном ZIN в районах 1–3

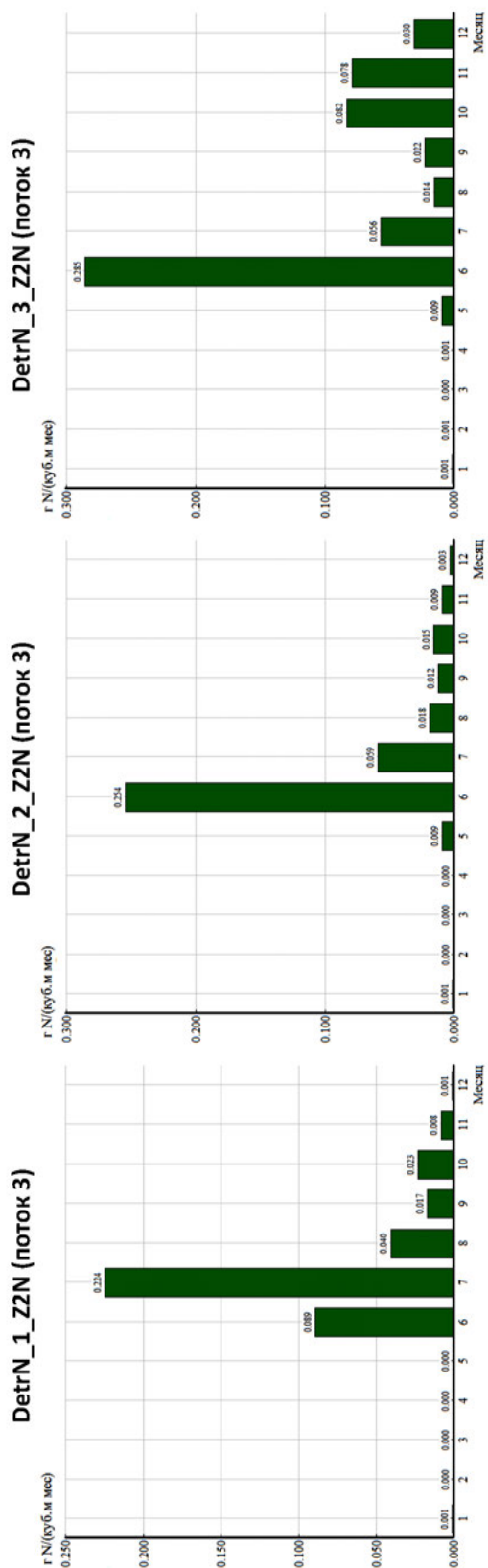


Рис. 79. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного N (ND) хищным зоопланктоном ZIN в районах 1–3

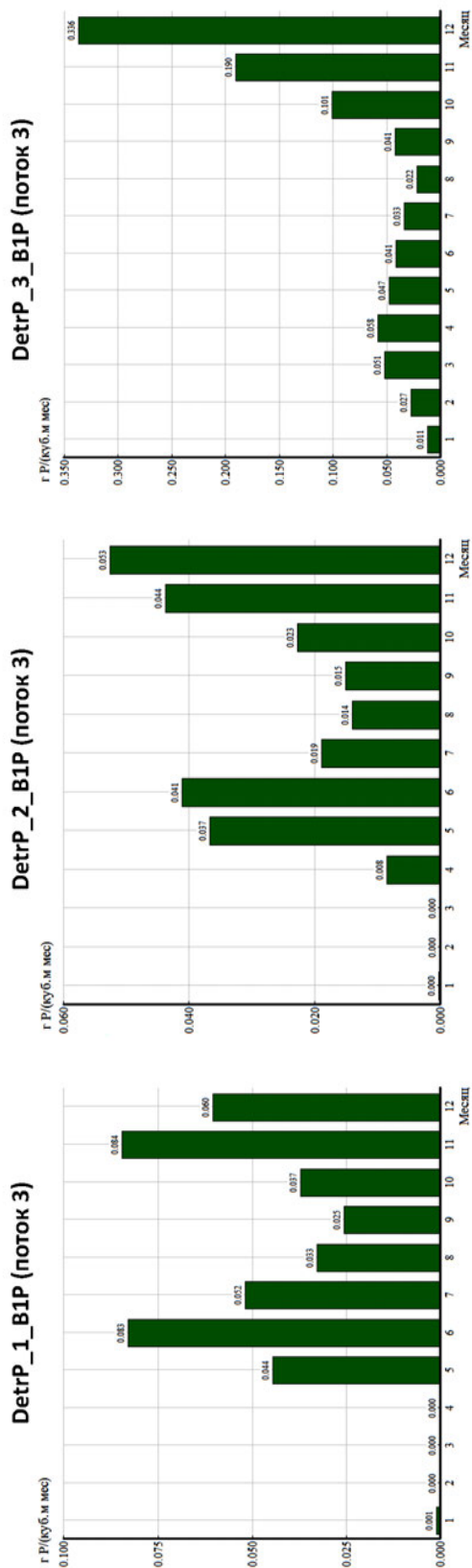


Рис. 80. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного P (PD) гетеротрофными бактериями В1Р в районах 1–3

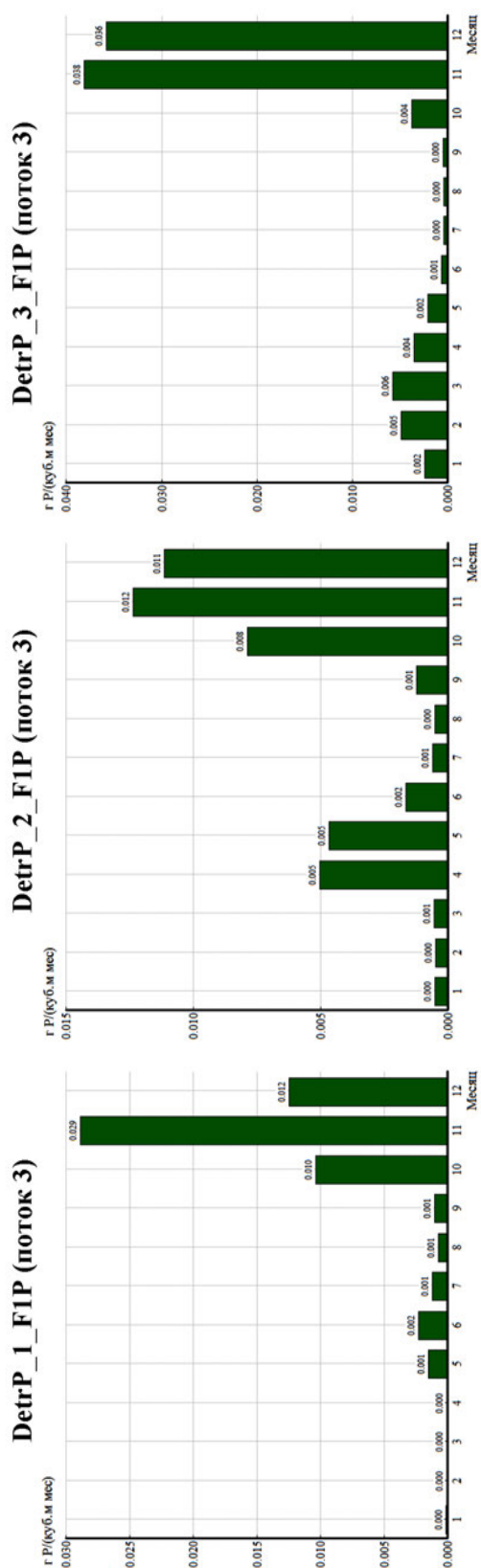


Рис. 81. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Р (РD) I-й группой фитопланктона F1P в районах 1–3

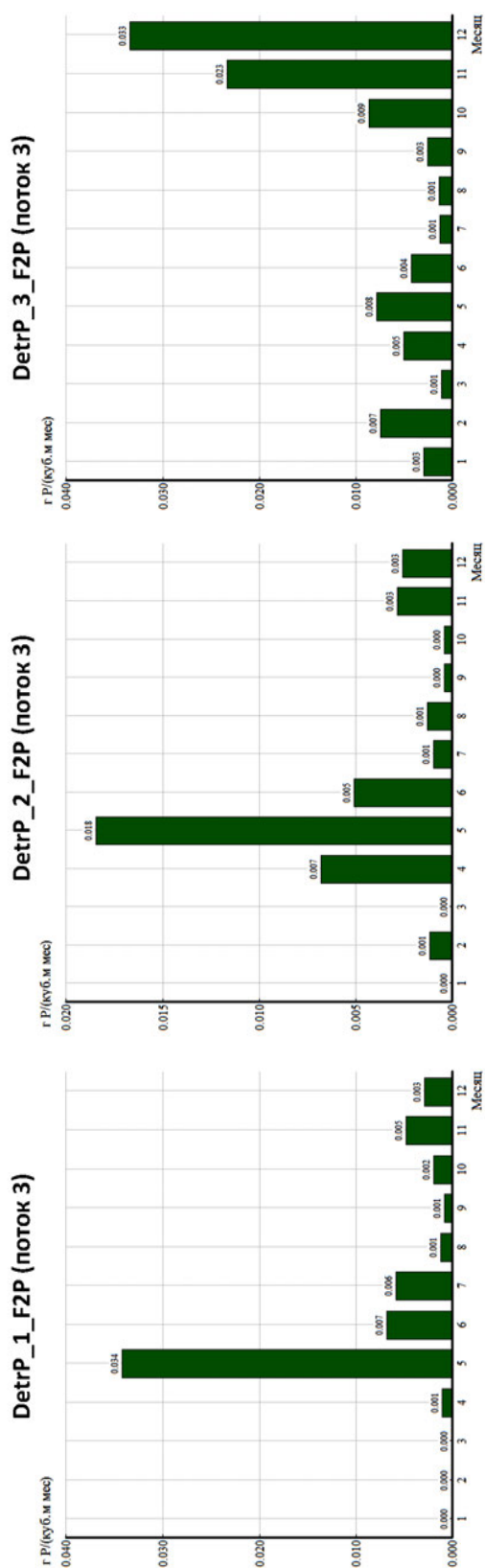


Рис. 82. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Р (PD) 2-й группой фитопланктона F2P в районах 1–3

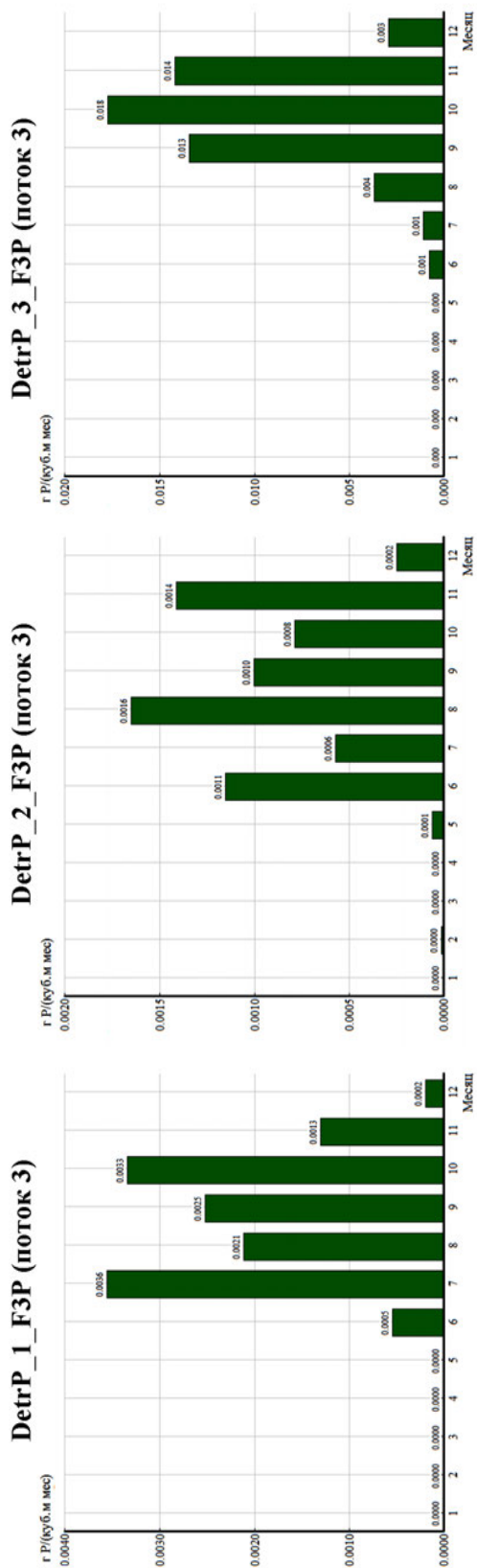


Рис. 83. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Р (PD) 3-й группой фитопланктона F3P в районах 1–3

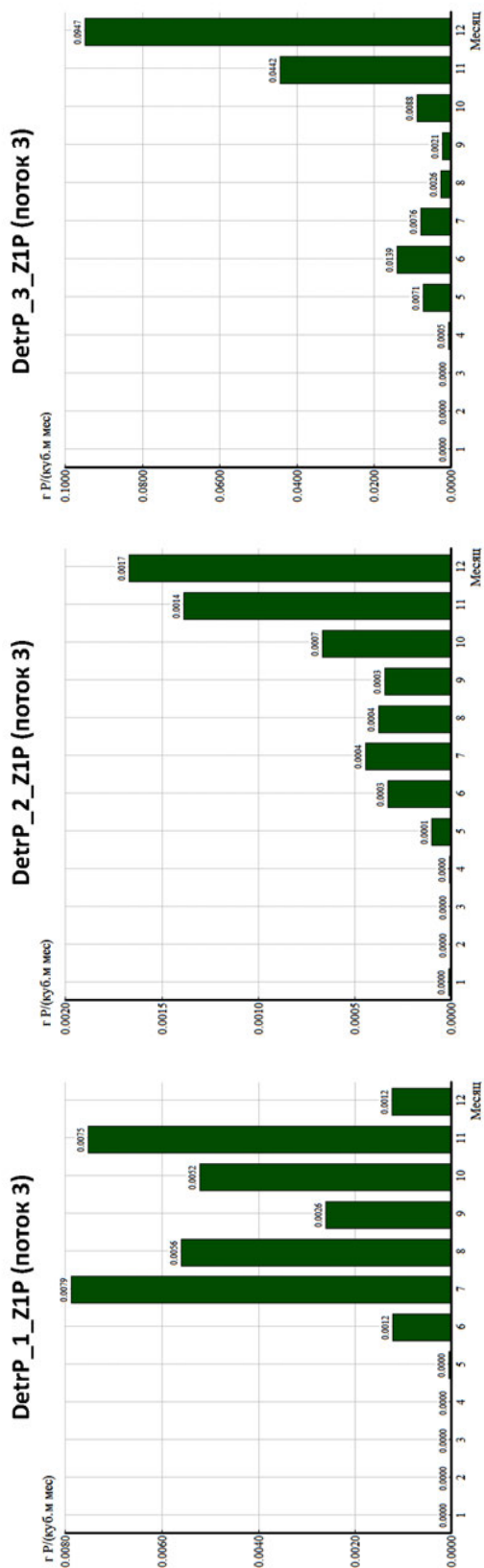


Рис. 84. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Р (PD) растительноядным зоопланктоном Z1P в районах 1–3

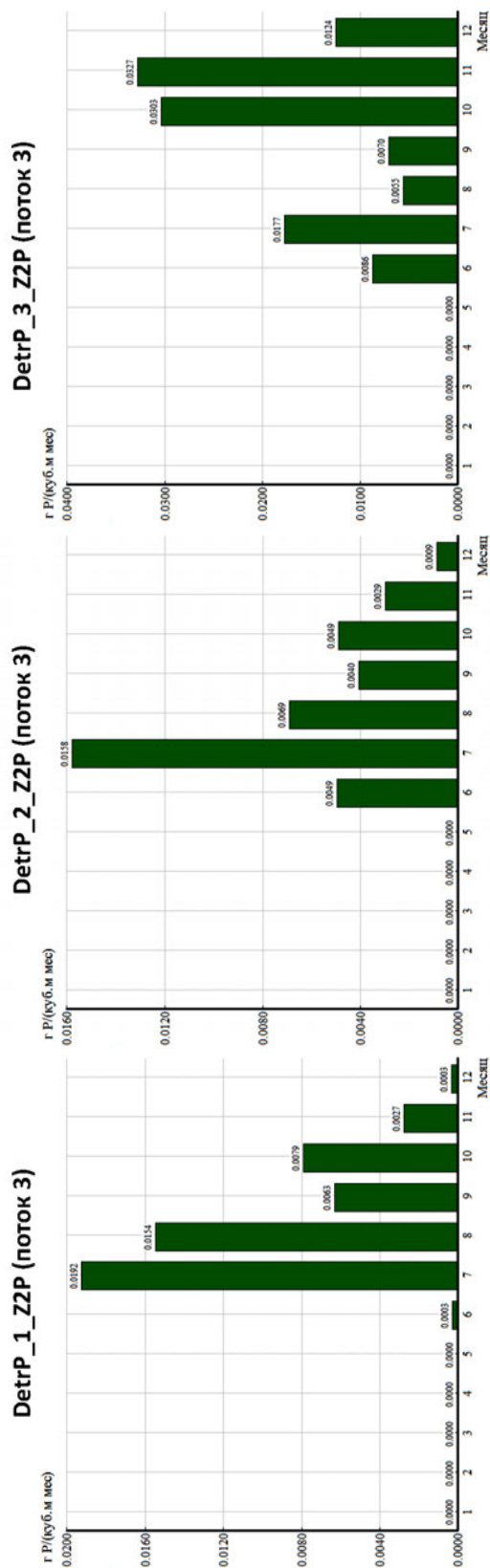


Рис. 85. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Р (PD) хищным зоопланктоном Z2P в районах 1–3

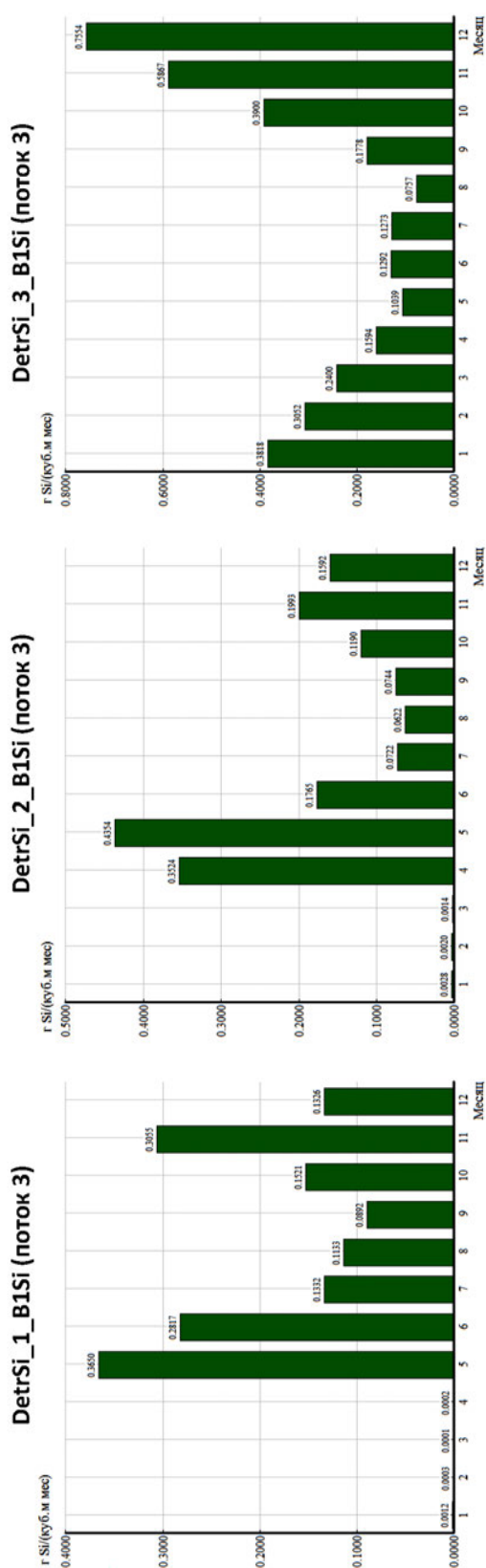


Рис. 86. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Si (SiD) гетеротрофными бактериями B1Si в районах 1–3

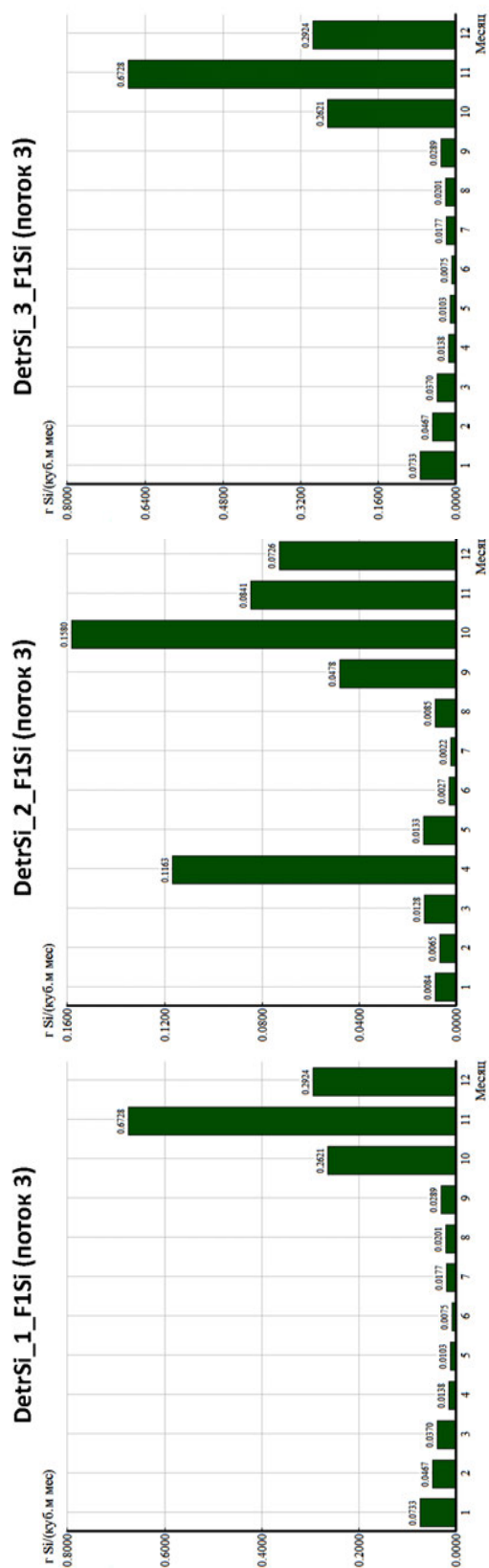


Рис. 87. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Si (SiD) I-й группой фитопланктона F1Si в районах I–3

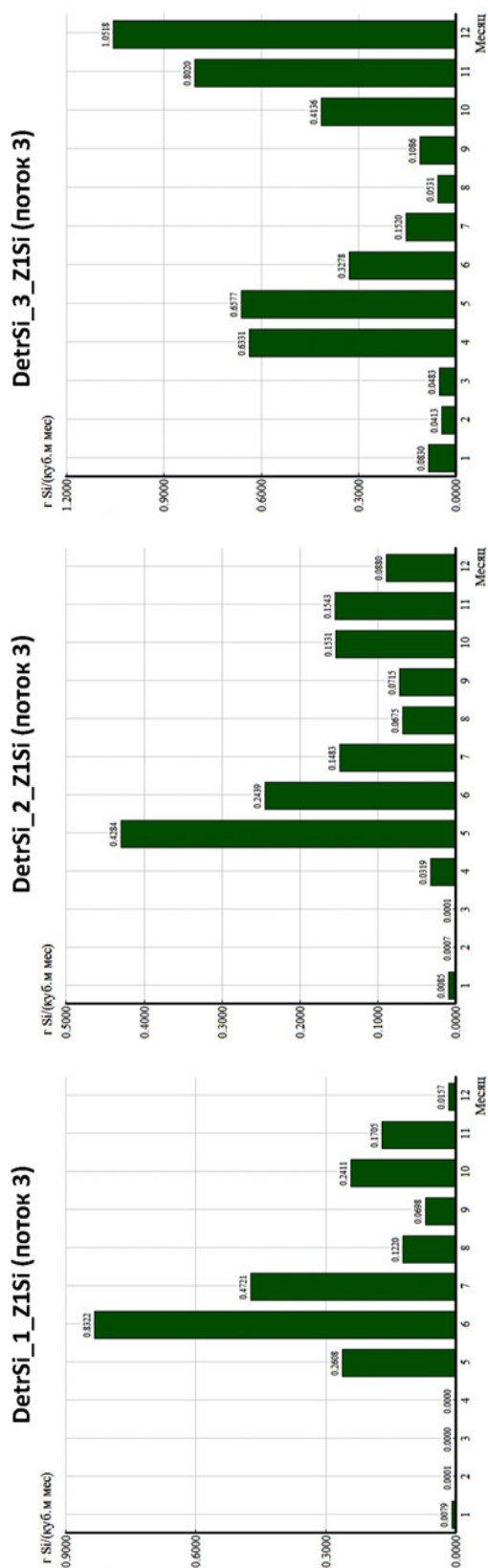


Рис. 88. Изменения расчетных значений ежемесячного образования детритного Si (SiD) растительной зоопланктоном Z1Si в районах 1–3

Учебное издание

ЛЕОНОВ Александр Васильевич
ПИЩАЛЬНИК Владимир Михайлович
ЗАРИПОВ Олег Мансурович

**Моделирование природных процессов:
система отображения результатов расчетов на CNPSi-модели**

Учебное пособие

Корректор *В. А. Яковлева*
Верстка *Е. Ю. Иосько*

Подписано в печать 20.12.2012. Бумага «Inасоріа».
Гарнитура «Times New Roman». Формат 70х108^{1/16}.
Тираж 500 экз. (1-й завод 1–150 экз.). Объем 10 усл. п. л. Заказ № 694-12.



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

Отпечатано в ОАО «ИПК «Дальпресс»
690950, г. Владивосток, пр. Красного знамени, 10
E-mail: dalpress@vladivostok.ru