

ВЕСТНИК

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия 3
Выпуск 1

2013
Март

БИОЛОГИЯ

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. ИЗДАЕТСЯ С АВГУСТА 1946 ГОДА

СОДЕРЖАНИЕ

ЗООЛОГИЯ

- Сухарева С. И., Четвериков Ф. Е.* Морфологические преобразования при переходе от протогинной к дейтогинной форме самок у четырехногих клещей (Acari: Eriophyoidea)..... 3

БОТАНИКА

- Габышев В. А., Габышева О. И.* Структура летнего (июль) фитопланктона р. Витим и среда его обитания 16
- Копцева Е. М., Абакумов Е. В.* Первичные сукцессии растительности и почв на карьерах в подзоне северной тайги (на территории Ухтинского и Сосногорского районов республики Коми) 28
- Чемерис Е. В., Бобров А. А., Филиппов Д. А.* Харовые водоросли (*Charophyta*) водотоков Вологодской области 45

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОФИЗИКА, БИОХИМИЯ

- Крысова А. В., Ноздрачев А. Д., Кунишин А. А., Циркин В. И.* Влияние блокаторов альфа- и бета-адренорецепторов на способность адреналина изменять осмотическую резистентность эритроцитов небеременных женщин 54
- Людина А. Ю.* Состав жирных кислот плазмы крови при когнитивно-мнестической деятельности 69
- Намозова С. Ш., Баранова Т. И.* Динамика адаптивных гормонов в период отборочного тура игр у баскетболистов 76



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ОСНОВАН В 1724 ГОДУ
1824 – ГОД ВЫХОДА В СВЕТ ПЕРВОГО ИЗДАНИЯ УНИВЕРСИТЕТА

© Авторы статей, 2013

© Издательство

Санкт-Петербургского университета, 2013

БОТАНИКА

УДК 574.583"323"(282.256.615)

В. А. Габышев, О. И. Габышева

СТРУКТУРА ЛЕТНЕГО (ИЮЛЬ) ФИТОПЛАНКТОНА Р. ВИТИМ И СРЕДА ЕГО ОБИТАНИЯ

Введение

Река Витим — один из крупных правых притоков р. Лены в ее верхнем течении. Длина реки 1916 км, площадь бассейна 227,2 тыс. км² [1]. Витим образуется слиянием рек Витимкана и Чины, берет начало на склонах Икатского хребта. Территория бассейна реки характеризуется сплошным распространением вечномерзлых грунтов, климат резкоконтинентальный. Питание реки в основном дождевое. В теплую часть года характерна серия паводочных волн, образующихся за счет дождей.

Витим обладает значительным потенциалом для гидроэнергетики, на реке планируется строительство каскада ГЭС. В бассейне реки с середины XIX в. проводится добыча золота, разведаны месторождения нефрита и слюды. О фитопланктоне и гидробиологии р. Витим до сих пор имеется лишь одна публикация [2]. Работа основана на сборах, выполненных в период с марта по сентябрь 2009 г. Наблюдения проводились в нижнем течении р. Витим на трех станциях, расположенных в районе впадения его правого притока, р. Мама. Оценена сезонная внутригодовая динамика: 1) содержания основных химических компонентов в водах р. Витим, 2) структуры планктонных сообществ водорослей; а также проведены исследования ледовых водорослей. В составе планктона реки были выявлены 93 вида и разновидности водорослей из 50 родов и 7 отделов. Таким образом, фитопланктон большей части р. Витим до сих пор остался неизученным.

Основные цели этого исследования: 1) выявить особенности пространственной структуры планктонных сообществ водорослей р. Витим в летний период; 2) оценить качество воды на основе биоиндикационных свойств водорослей планктона и гидробиологических параметров.

Материал и методы исследования

Исследование основано на материалах сборов, выполненных в период с 19 по 29 июля 2011 г. на участке реки от мостового перехода Байкало-Амурской железнодо-

Габышев Виктор Александрович — канд. биол. наук, Учреждение Российской академии наук Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН; e-mail: v.a.gabyshev@ibpc.ysn.ru

Габышева Ольга Ивановна — соискатель, Учреждение Российской академии наук Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН; e-mail: oi_gabysheva@mail.ru

© В. А. Габышев, О. И. Габышева, 2013

рожной магистрали через р. Витим до устья (730 км) (рис. 1). На основе особенностей гидрологического режима и гидрографических характеристик исследованная часть реки условно разделена на три участка.

Участок А начинается от мостового перехода БАМа через р. Витим и простирается до Парамского порога. Протяженность участка — 80 км. Витим здесь протекает по Муйско-Куандинской котловине. Долина широкая и низкая, заболоченная. Русло разделяется на три крупных рукава, и ширина реки вместе с протоками доходит до 5 км. Скорость течения в верхней части участка достигает 1,5 м/с. Перед тем как уйти в ущелье между хребтами Северо-Муйским и Кодаром, Витим разливается до 2 км в ширину и замедляет течение до 1,0 м/с. Глубина реки небольшая и по фарватеру составляет 3,0–4,5 м. Прозрачность воды 2,15 м по диску Секки. Берега реки и дно ее русла сложены главным образом песком и песчано-илистой смесью. Средняя для участка температура воды по данным собственных наблюдений — 21,3°C.

Участок В длиной 137 км простирается от Парамского порога до устья правого притока Витима, р. Амалык. На этом участке река пересекает хребты Кодар, Северо-Муйский и Делюн-Оронский. Долина реки резко сужена, русло представляет стремнину с большим количеством шивер, подводных и надводных камней и двумя крупными порогами — Парамским и Делюн-Оронским. Скорость течения высокая — 2,2–3,1 м/с, а местами до 5,5 м/с. Глубина русла меняется от 1,2 до 7 м. Во время отбора полевого материала на этом участке реки из-за дождей образовалась паводковая волна, и произошел резкий подъем уровня воды р. Витим. Вследствие этого прозрачность и температура воды уменьшились. Так, в пунктах наблюдений, расположенных на участке реки от Парамского порога до устья протоки, впадающей из оз. Орон (где наблюдения велись до начала паводка), эти параметры составляют соответственно 1,4–1,9 м и 19,0–21,1°C, а ниже (во время паводка) — 0,6 м и 15,5°C. В устьях притоков температура воды понижена — 10,3–13,4°C.

Участок С, длина его составляет 513 км от впадения р. Амалык до устья Витима. На этом участке река огибает Патомское нагорье. Долина р. Витим здесь расширяется. Берега и дно преимущественно песчано-галечные. Глубина русла меняется от 2,4 до

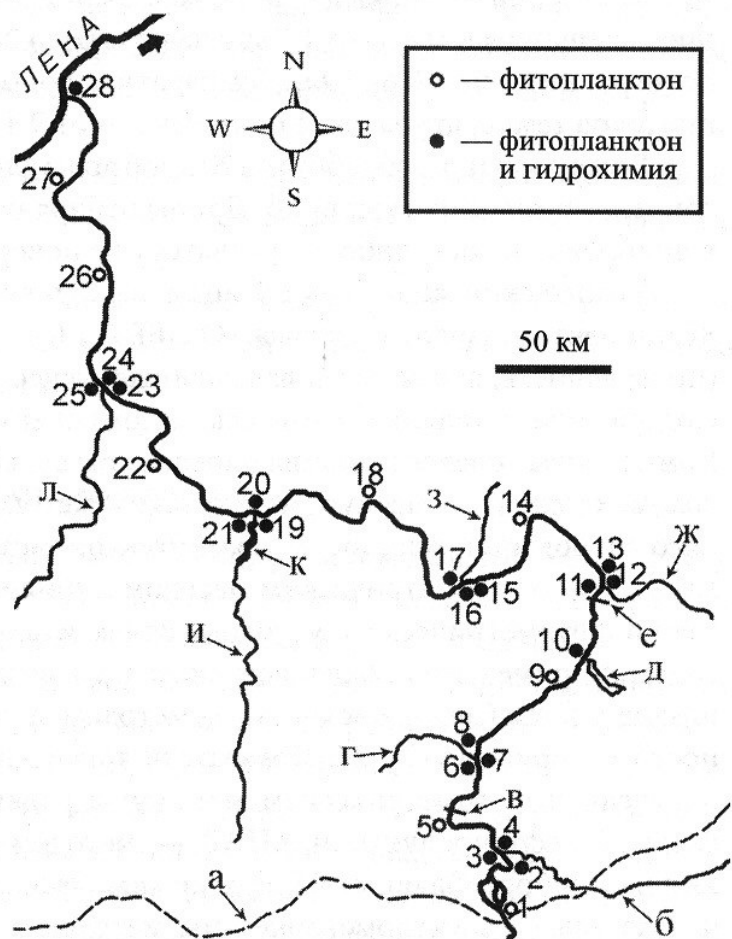


Рис. 1. Пункты отбора проб на р. Витим:

а — трасса БАМ; б — р. Куанда; в — Парамский порог; г — р. Янгуда; д — оз. Орон; е — Делюн-Оронский порог; ж — р. Амалык; з — р. Олонгро; и — р. Мамакан; к — Мамаканское водохранилище; л — р. Мама.

10,5 м, ширина — от 320 до 430 м, местами до 850 м. Скорость течения меньше, чем на предыдущем участке — от 1,7 м/с на плесах до 2,8 м/с на перекатах. Прозрачность воды остается низкой — 0,6–0,9 м. Температура воды в среднем для участка 15,3°C. В устьях притоков температура воды понижена — от 9,4 до 11,0°C.

Всего собрано и обработано 20 проб воды для гидрохимического анализа и 56 планктонных альгологических проб. Пробы отбирались в 28 пунктах на р. Витим (см. рис. 1), в прибрежной зоне, либо по фарватеру из поверхностного горизонта воды (0–0,3 м).

Химический анализ проб воды выполнен по общепринятым методикам [3, 4]. Компоненты газового режима (O_2 , БПК₅, CO_2) и некоторые физические показатели (прозрачность, запах, вкус, взвешенные вещества) определены на месте отбора проб. Содержание остальных химических компонентов выявлено в условиях лаборатории. Компоненты солевого состава определены: сульфат-анион — турбидиметрическим методом, хлориды — меркурометрическим методом, гидрокарбонаты — методом обратного титрования, жесткость — комплексометрическим методом с эриохромчерным, кальций — титрометрическим методом с трилоном Б, катионы калия и натрия — пламенно-фотометрическим методом. Запах и вкус определяли органолептическим методом с применением балловой шкалы, физические показатели: прозрачность — при помощи диска Секки, цветность — методом определения светопоглонительной способности на приборе СФ-26. Показатели токсического загрязнения воды: железо общее определяли фотометрическим методом с роданистым аммонием на приборе СФ-26, фенолы, нефтепродукты и АПАВ — методом люминесцентного хроматографирования на приборе Флюорат-02; другие химические показатели, в том числе: водородный показатель — электрометрическим методом на приборе Мультитест ИПЛ-101, растворенный диоксид углерода — титрометрическим методом с фенолфталеином; растворенный кислород — методом Винклера (йодометрическое определение); азот аммонийный — фотометрическим методом с реактивом Несслера на приборе СФ-26; азот нитритный — фотометрическим методом с реактивом Грисса на приборе СФ-26; азот нитратный — фотометрическим методом с салицилатом натрия на приборе СФ-26; фосфаты — методом образования фосфорномолибденового комплекса на приборе СФ-26, фосфор общий — методом персульфатного окисления на приборе СФ-26; трудноокисляемые органические вещества (ТООВ) (по величине ХПК) — фотометрическим методом на приборе Флюорат-02; легкоокисляемые органические вещества (ЛООВ) (по величине БПК₅) — методом Винклера (йодометрическое определение).

Образцы для изучения количественного развития фитопланктона объемом 1,5 л сосредоточены на мембранных фильтрах Sartorius (диаметр пор 1,2 мкм) путем фильтрации под избыточным давлением при помощи устройства для сгущения фитопланктона собственной конструкции [5]. Отбор проб на качественный состав произведен планктонной сетью Апштейна (фильтровальная ткань SEFAR NITEX с размером ячеек 30 мкм). Микроскопирование препаратов выполнено с применением микроскопа Olympus BH-2. Подсчет численности клеток водорослей осуществлен на счетной камере Нажотта объемом 0,01 см³. Объем тела водорослей определен стереометрическим методом [6] и рассчитан по данным собственных измерений клеток. При переводе объемных величин в весовые удельный вес водорослей условно принят равным единице. Анализ таксономической структуры фитопланктона проведен с использованием методов, принятых в сравнительной флористике [7]. Иерархический кластерный анализ выполнен с применением компьютерной программы PAST [8]. Для вычисле-

ния коэффициента флористического сходства использован коэффициент Жаккара. Для оценки биологического разнообразия водорослей применен индекс Шеннона—Уивера [9]. Сведения об экологической принадлежности водорослей приведены по работе С. С. Бариновой и соавторов [10].

Для проведения комплексной оценки качества воды использованы классификации В. Сладечека [11], О. П. Оксик и соавторов [12], а также нормативы ПДК рыбохозяйственного назначения [13].

Так как в единственной работе, посвященной изучению фитопланктона р. Витим [2], видовой список водорослей авторами опубликован не был, мы не имеем возможности учесть их данные в нашем исследовании.

Результаты исследования

Гидрохимия. На всех обследованных участках вода р. Витим не имеет запаха и вкуса, ее прозрачность высокая, но понижается с наступлением паводка. Реакция среды близка к слабощелочной. Кислородный режим в пределах нормы (таблица).

По компонентному составу главных ионов воды р. Витим гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, 2–3-го типа, пресные, маломинерализованные, очень мягкие. Концентрация компонентов солевого состава и процентное соотношение элементов на различных участках реки значительно не меняются. На долю гидрокарбонатов приходится 26–28%-экв. от общей суммы катионов и анионов, на долю кальция — 25–33%-экв., сульфатов — 10–15%-экв., магния — 11–16%-экв., хлоридов — 8–12%-экв., натрия — 7–9%-экв., калия — 1–2%-экв. Превышения предельно-допустимой концентрации по солевому составу не зафиксировано. Полученные нами данные соотносятся с ранее опубликованными результатами для нижнего течения реки [2].

Воды р. Витим бедны биогенными и органическими элементами (см. таблицу). Отмечен низкий уровень содержания фосфорных соединений (фосфатов, фосфора общего). Концентрация азотистых соединений (азота нитратного, нитритного и аммонийного) невысока. Низкими показателями содержания характеризуется комплекс органических веществ — ЛООВ (по БПК₅), перманганатная окисляемость, фенолы, нефтепродукты и АПАВ. Особенности в распределении комплекса биогенных и органических соединений по продольной оси реки не обнаружено, превышения ПДК нет.

На всем протяжении р. Витим в воде зарегистрировано повышенное содержание железа общего и ТООВ (см. таблицу). Отмеченная концентрация ТООВ соответствует низкому уровню загрязнения. Содержание железа общего в воде участков А и В указывает на низкий уровень загрязнения, участок С характеризуется средним уровнем загрязнения.

Фитопланктон. В результате собственных наблюдений в составе планктона р. Витим было выявлено 310 видов водорослей (345 таксонов рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида) из 7 отделов, 12 классов, 20 порядков, 50 семейств, 106 родов.

По видовому богатству преобладают представители отдела Chlorophyta (57,4% от общего числа видов), на втором месте — Bacillariophyta (29,0%). Разнообразно представлены водоросли отдела Cyanophyta (6,1%); Xanthophyta (2,3%), Chrysophyta (1,9%), меньше Euglenophyta и Dinophyta (по 1,6%).

На уровне классов выделяется Conjugatophyceae (35,8% видового состава), Pennatophyceae (26,1%) и Chlorophyceae (21,6%); на уровне порядков — Desmidiaceae (34,8%), Raphales (21,0%) и Chlorococcales (18,7%).

**Физико-химические параметры поверхностных вод р. Витим на различных участках
(пределы колебаний)**

Показатели	ПДК _{вр}	Участки реки		
		А	В	С
<i>Компонентный состав главных ионов</i>				
Минерализация, мг/л	1000	45,74–53,56	43,89–91,59	45,71–58,71
Общая жесткость, мг-экв/л	7	0,50–0,60	0,50–1,05	0,55–0,95
Кальций, мг/л	180	8,02–11,02	6,01–14,03	5,01–12,02
Магний, мг/л	40	0,61–1,82	1,82–4,25	1,22–6,08
Натрий, мг/л	120	1,15–4,14	1,84–4,60	0,69–2,30
Калий, мг/л	50	0,39–2,35	0,78–3,91	0,39–1,96
Гидрокарбонаты, мг/л	не лимит.	15,26–21,36	15,26–45,77	18,31–33,56
Хлориды, мг/л	300	4,61–6,74	4,25–8,51	3,19–6,03
Сульфаты, мг/л	100	10,09–10,57	6,24–16,81	7,20–15,85
<i>Физические показатели</i>				
Запах, баллы	2 балла	0	0	0
Вкус, баллы	то же	0	0	0
Прозрачность, м	–	2,15	0,60–1,90	0,60–0,90
Цветность, градусы	20	2,0–23,0	1,00–22,00	1,00–18,00
Взвешенные вещества, мг/л	–	12,00–14,00	12,00–16,00	12,00–22,00
Водородный показатель	6,5–8,5	7,12–7,66	7,37–8,01	7,32–7,87
<i>Газовый режим</i>				
Растворенный кислород, мг/л	более 6,0	8,05–8,86	8,05–10,75	9,06–11,00
Насыщенность кислородом, %	100	97–110	89–102	95–103
Углекислый газ, мг/л	–	2,64–3,96	2,86–4,18	2,64–4,62
<i>Биогенные и органические вещества</i>				
Азот аммонийный, мг/л	0,39	0,05–0,12	0,05–0,12	0,09– 0,69
Азот нитритный, мг/л	0,02	0,002–0,005	0,002–0,015	0,002–0,011
Азот нитратный, мг/л	9,10	0,05–0,11	0,10–0,16	0,04–0,16
Фосфор минеральный, мг/л	0,20	0,00–0,01	0,00–0,04	0,00–0,16
Фосфор общий, мг/л	0,20	0,06–0,10	0,02–0,20	0,06–0,20
Кремний, мг/л	–	1,58–1,88	1,10–1,62	1,48–2,28
ТООВ (по величине ХПК), мг/л	15,00	20,00–20,40	19,80–22,50	22,30–28,20
ЛООВ (по величине БПК ₅), мг/л	менее 2,0	0,79–0,95	0,29–0,90	0,41–1,86
Перманганатная окисляемость, мг/л	15,00	10,40–12,00	4,00–14,40	9,60–14,00
Железо общее, мг/л	0,10	0,16–0,27	0,16–0,67	0,43–1,54
Фенолы, мг/л	0,001	0,0004	0,0004	0,0004
АПАВ, мг/л	0,10	0,04	0,04–0,05	0,04–0,05
Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,004	0,003–0,004	0,003–0,004

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения превышающие ПДК_{вр}.

Наиболее крупные по числу видов 7 семейств включают 175 видов водорослей (56,5% от общего числа видов), которые принадлежат к отделам Bacillariophyta и Chlorophyta. Одно- и двувидовых семейств в спектре водорослей планктона р. Витим — 19, т. е. 38,0% от их общего количества.

Анализ родового спектра водорослей планктона р. Витим указывает на неравномерность распределения видов по родам. Так, 8 ведущих родов, составляющих 7,6% всего родового состава, охватывают 37,4% общего числа видов. Одно- и двувидовыми являются 69,8% всех родов водорослей планктона реки, причем на их долю приходится 32,3% всего видового состава. Пропорции флоры 1:2,1:6,2:6,9. Родовая насыщенность 2,9. Вариабельность вида 1,1.

В фитопланктоне Витима преобладают водоросли смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний (27,8% видового состава); бентосных и планктонных форм (по 21,4%) — меньше. Отмечено пять реофильных видов: *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Meridion circulare* Ag., *Gomphonema angustatum* (Kütz.) Rabenh. var. *productum* Grun., *G. longiceps* Ehr. var. *montanum* (Schum.) Cl. f. *suecicum* Grun., *G. longiceps* var. *subclavatum* Grun. f. *gracile* Hust.; и один вид предпочитающий хорошо аэрированные воды — *Hantzschia elongata* (Hantzsch) Grun.

Воды р. Витим маломинерализованные, что обуславливает преобладание в фитопланктоне олигогалобов (55,4%). Активная реакция вод близка к слабощелочной, поэтому значительна доля индифферентов (15,7%), а также алкалифилов и алкалибионтов (в сумме 12,5%); ацидофилов (9,0%) — меньше, ацидобионты отсутствуют.

По географической принадлежности основу фитопланктона реки составляют космополиты (54,8%). Наибольший интерес в связи с особенностями природных условий региона представляют альпийские и арктоальпийские организмы, их доля в фитопланктоне реки составляет 5,2%. Среди них четыре вида, отмеченных в большинстве пунктов наблюдений на р. Витим: *Achnanthes nodosa* A. Cl., *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, *Hannaea arcus*, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. Доля бореальных и циркумбореальных видов меньше — 4,1%, среди них лишь два распространенных в реке вида — *Aulacosira distans* (Ehr.) Simon. и *A. islandica* (O. Müll.) Simon. Доля представителей голарктического географического царства — 4,6%, среди них один широко распространенный в р. Витим вид, планктер *Pandorina charkoviensis* Korsch. Географическое положение р. Витим объясняет присутствие в планктоне стенотермных холодолюбивых диатомей: *Aulacosira distans*, *A. islandica*, *A. italica* (Kütz.) Simon., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *Eunotia praerupta* Ehr., *E. praerupta* var. *bidens* (W. Sm.) Grun., *Gomphonema ventricosum* Greg.

По отношению к концентрации органических веществ в водной толще состав водорослей-индикаторов р. Витим на 21,9% образован β -мезосапробными формами, на 19,9% — олигосапробными, на 31,5% — видами, развивающимися в переходной зоне между β -мезо- и олигосапробной. Меньше водорослей, характеризующих воды с высокими показателями сапробности (β - α , α - β , α , β - p), — 8,3%, и с очень низкими (χ , χ - o , o - χ , χ - β) — 18,4%.

В большинстве пунктов наблюдений, начиная от впадения протоки из оз. Орон и до устья р. Витим (см. рис. 1), в планктоне отмечен реликтовый вид, представитель диатомей — *Pliocaenicus costatus* Flower, Ozornina et Kuzmina. Причем вегетативные клетки водоросли найдены лишь в устьях притоков — рек Олонгро и Мама. В других пунктах обнаружены инициальные клетки.

Участок А. В фитопланктоне р. Витим на этом участке выявлено 208 видов (221 внутривидовой таксон) из семи отделов. По числу видов основу фитопланктона составляют зеленые (60,6% общего числа видов) и диатомовые водоросли (26,9%) (рис. 2). Синезеленых меньше (7,2%), золотистых найдено четыре вида, динофитовых и желтозеленых — по три вида, эвгленовых — один.

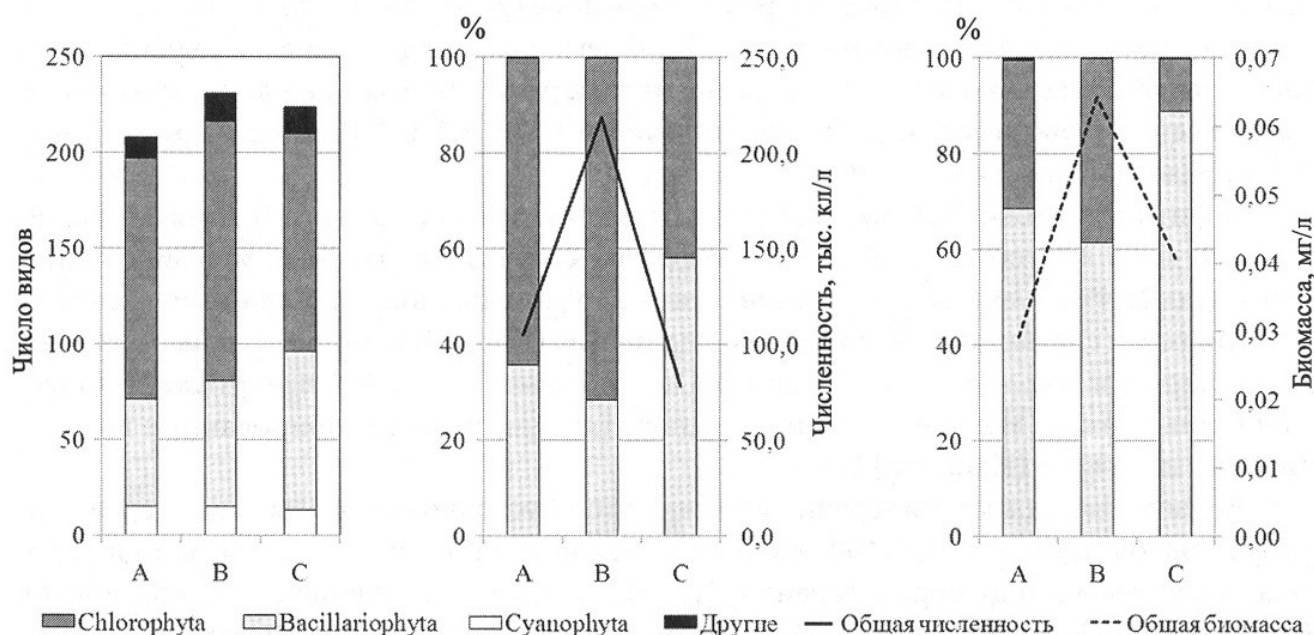


Рис. 2. Доля (%) доминирующих отделов водорослей в видовом составе (слева), общей численности (в центре) и биомассе (справа) фитопланктона, а также абсолютные показатели развития фитопланктона на различных участках р. Витим

Численность фитопланктона на этом участке реки составляет в среднем 105,2 тыс. кл/л, биомасса — 0,0291 мг/л. Основу количественных показателей развития фитопланктона составляют зеленые (64,2% общей численности и 30,9% общей биомассы фитопланктона) и диатомовые (35,7 и 68,4%) водоросли, доля представителей других отделов незначительна (см. рис. 2).

Структурообразующими видами фитопланктона этого участка реки являются представитель зеленых водорослей и два вида диатомей: доминант — *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn. и субдоминанты — *Synedra tabulata* (Ag.) Kütz. и *Achnanthes nodosa*. Это два космополита и один арктоальпийский вид, представители бентоса и смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний.

Индекс биоразнообразия участка А р. Витим варьирует по различным пунктам наблюдений от 3,80 до 5,23. Индекс сапробности в среднем для участка составляет 1,71.

Участок В. Видовое богатство планктона на этом участке реки сопоставимо с участком А, и составляет 231 вид (245 видов и разновидностей) водорослей, которые относятся к семи отделам. Основу флористического состава фитопланктона, как и на предыдущем участке, составляют представители Chlorophyta (58,4% от общего числа видов) и Bacillariophyta (28,6%) (см. рис. 2). Cyanophyta — на третьем месте (6,5%). Менее разнообразно представлены водоросли отделов Xanthophyta (2,2%) и Chrysophyta (1,7%), Dinophyta и Euglenophyta найдено по 3 вида.

Уровень вегетации фитопланктона на этом участке реки возрастает в сравнении с вышерасположенным участком — 218,6 тыс. кл/л и 0,0643 мг/л (см. рис. 2). Основу

фитопланктона, как и на участке А, составляют водоросли отдела Chlorophyta (71,4% общей численности и 38,3% общей биомассы фитопланктона) и Bacillariophyta (28,4 и 61,5%) (см. рис. 2). Доля представителей других отделов водорослей в количественном развитии фитопланктона незначительна. При этом в планктоне Витима в районе устьев его притоков — рек Янгуда и Амалык, роль диатомей по числу видов (53,8 и 56,5% соответственно), численности (88,7 и 50,1%) и биомассе (96,9 и 83,5%) значительно выше, чем для участка В в целом.

Следует отметить, что при микроскопировании материала из этого участка реки зафиксирована частая встречаемость среди диатомовых из рода *Nitzschia* форм с искривленным панцирем.

Набор структурообразующих видов фитопланктона в сравнении с вышерасположенным участком реки меняется незначительно — это представители отделов Chlorophyta и Bacillariophyta. В числе доминантов: *Monoraphidium contortum* и *Synedra tabulata*. Субдоминанты — *Monoraphidium griffithii* (Berk.) Kom.-Legn. и *Achnanthes nodosa*.

Индекс биоразнообразия варьирует от 2,97 до 5,29. Индекс сапробности — 1,58.

Участок С. В фитопланктоне на этом участке реки выявлено 224 вида (243 внутривидовых таксона) из 7 отделов. Основу флористического состава фитопланктона, как и выше по течению, составляют представители Chlorophyta и Bacillariophyta. Но доля зеленых водорослей несколько снижается, в сравнении с участками А и В и составляет 50,9% от общего числа видов фитопланктона, а диатомей — увеличивается (37,1%) (см. рис. 2). Водоросли отдела Cyanophyta по-прежнему на третьем месте (5,8%). Представителей Dinophyta и Xanthophyta (по 1,8%), а также Chrysophyta и Euglenophyta (по 1,3%) — меньше.

Показатели количественного развития фитопланктона на этом участке реки снижаются — 78,6 тыс. кл/л, 0,0406 мг/л (см. рис. 2). Доля диатомовых возрастает как в составе численности фитопланктона (58,1%), так и биомассы (88,9%), а роль зеленых уменьшается (41,8 и 10,9%). Доля водорослей других отделов в количественном развитии фитопланктона незначительна (см. рис. 2).

Здесь, как и на участке В, в планктоне Витима в районе устьев его притоков — рек Олонгро, Мамакан и Мама, роль диатомей по числу видов (51,9, 65,3 и 67,3% соответственно), численности (99,5, 97,8 и 99,4%) и биомассе (88,2, 67,6 и 96,6%) также выше, чем для участка С в целом.

На этом участке Витима часто встречаются представители родов *Nitzschia*, *Eunotia* и *Synedra* с искривленным панцирем.

Состав доминантов меняется незначительно, но среди них три вида диатомей и лишь один представитель зеленых водорослей. В числе доминантов *Achnanthes nodosa* и *Monoraphidium contortum*, субдоминанты — *Synedra tabulata* и *Hannaea arcus*. Это планктонные и планктонно-бентосные водоросли, космополиты и представители арктоальпийской флоры.

Индекс биоразнообразия на данном участке р. Витим меняется по пунктам отбора проб от 2,67 до 5,32. Индекс сапробности — 1,49.

Обсуждение результатов исследования

Воды р. Витим бедны биогенными и органическими элементами. Это соотносится с ранее опубликованными результатами для нижнего течения реки [2]. Повышенное содержание железа общего и ТООВ имеет природный характер. Данные компоненты

накапливаются в поверхностных водах за счет интенсивных процессов оттаивания и размывания поверхностного слоя грунтов, а также в результате разложения донных осадков. На современном этапе река является нетрансформированным водотоком и находится преимущественно под влиянием природных факторов.

Полученные данные о фитопланктоне р. Витим, позволили значительно пополнить имевшиеся ранее сведения о его видовом разнообразии.

Основу выявленного списка фитопланктона р. Витим на 92,5% составляют зеленые, диатомовые и синезеленые водоросли. Это соответствует результатам, полученным Н. А. Бондаренко и соавторами [2] для низовьев Витима, а также характерно и для других рек Севера [14–16].

Накопление видов с небольшим числом родов, а также значительное число одно- и двувидовых родов, были отмечены ранее для фитопланктона р. Витим [2] и характерны для флоры водорослей северных водоемов в целом [17].

Найденный нами реликтовый вид — представитель диатомей *Pliocaenicus costatus* — был обнаружен в Витиме и ранее, в нижнем течении реки в районе левого притока р. Мама [2]. Он широко распространен в озерах бассейна р. Витим [18], и, очевидно, оттуда попадает в планктон реки. Оптимум развития представителей рода был в плиоцене, когда он насчитывал восемь видов. К настоящему времени есть сведения о его находках лишь в Северном полушарии. Современные популяции представлены одним видом (*P. costatus*), который отмечен в арктических и горных областях Азии [19].

Уровень биоразнообразия планктонной флоры на различных участках р. Витим значительно не меняется. Однако отмечено, что доля Chlorophyta в составе флоры планктона уменьшается по направлению к устью р. Витим, а доля Bacillariophyta — увеличивается. На верхнем (А) из обследованных участков реки для развития Chlorophyta складываются наиболее благоприятные условия. Это относительно небольшая скорость течения, хороший прогрев воды, а также наличие мелководных заводей и низкой разработанной долины с пойменными водоемами, из которых возможен занос в планктон основного русла реки представителей Chlorophyta.

На участках В и С условия обитания фитопланктона резко меняются, Витим здесь представляет собой стремнину с узкой долиной. Виды Chlorophyta постепенно выпадают из планктонных сообществ, а бентосные Bacillariophyta заносятся в планктон из-за турбулентности потока воды. Диатомеи попадают в Витим и из притоков. Температура воды в притоках Витима на участках В и С значительно ниже, чем в самой реке, и большинство из них это горные потоки, где прикрепленные формы Bacillariophyta, как наиболее экологически пластичная группа водорослей, активно вегетируют.

Влиянием значительных гидродинамических нагрузок на клетки планктона в условиях горной реки объясняется частая встречаемость на участках В и С среди диатомовых форм с искривленным панцирем. Такие отклонения от нормы при росте и развитии диатомей были отмечены нами и в планктоне другой горной реки — Индигирки [20].

Значительная доля в планктоне реки случайно-планктонных бентосных форм, а также наличие аэрофильных и холодолюбивых видов водорослей отражает горный характер р. Витим.

Высказанное предположение исследователей [2] о составе наиболее часто встречающихся на протяжении большей части р. Витим видов полностью подтверждено нами

для следующих водорослей: *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., *Pliocaenicus costatus*, *Synedra acus* Kütz., *Tabellaria flocculosa*, *Monoraphidium contortum*.

Наивысший уровень количественного развития фитопланктона р. Витим отмечен на участке В (см. рис. 2), где скорость течения реки наиболее высока. Это обусловлено заносом в планктон водорослей из донных обрастаний. Аналогичный факт отмечен в развитии фитопланктона других рек региона, на участках с высокой скоростью течения [21, 22].

Количественное развитие фитопланктона р. Витим невысоко. Максимальное значение биомассы, отмеченное нами в одном из пунктов наблюдений на р. Витим (0,1850 мг/л), сопоставимо с полученными ранее данными для этой реки (0,2300 мг/л) [2]. Фактором, лимитирующим развитие фитопланктона р. Витим, по данным Н. А. Бондаренко и соавторов [2], является низкое содержание в водах реки биогенных элементов. На наш взгляд, следует указать еще несколько важных факторов: высокая скорость течения р. Витим, по мнению ряда исследователей, течение — основной фактор лимитирующий развитие планктона [23]; и низкая степень минерализации вод. Очевидно также, что четвертый, сдерживающий фактор, это резкое снижение прозрачности воды во время частых дождевых паводков.

По развитию численности и биомассы основу фитопланктона всех исследованных участков реки составляют Bacillariophyta и Chlorophyta (см. рис. 2), что характерно и для других северных рек [21–27]. Доминирование Bacillariophyta в биомассе планктона р. Витим было отмечено исследователями ранее [2].

В составе структурообразующих видов фитопланктона р. Витим представители Bacillariophyta и Chlorophyta, космополиты, планктонно-бентосные и бентосные формы. Учитывая, что Витим — типично горная река, характерным является наличие среди доминантов двух арктоальпийских видов и одного реофила.

Коэффициенты сходства видового состава фитопланктона исследованных участков реки относительно высоки. Так, для пары участков А—В он составляет 0,74, для пары А—С — 0,69, для пары В—С — 0,75. Это легко объяснить с позиций концепции речного континуума [28], учитывая высокую скорость течения и общую протяженность исследованного участка Витима.

Изменение флористического состава фитопланктона в пункте 12 (устье р. Амалык) и меньший флористический сдвиг в пункте 7 (устье р. Янгуда) обусловлены сменой гидрологических условий реки (рис. 3). Результаты кластерного анализа показывают также высокую степень обособленности флор притоков Витима, рек Янгуда (пункт 7), Амалык (12), Олонгро (16), Мамакан (20) и Мама (24).

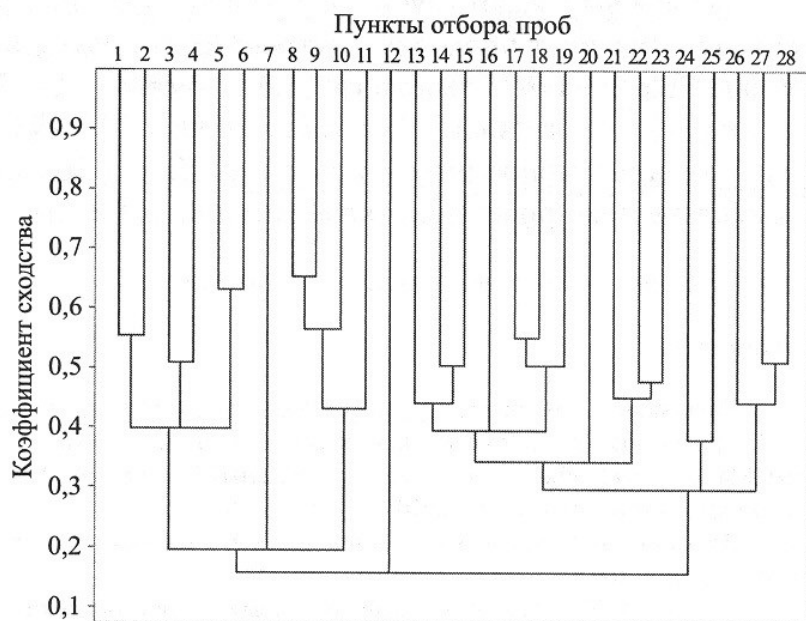


Рис. 3. Дендрограмма иерархического кластерного анализа флоры фитопланктона р. Витим

Наибольшее среднее значение индекса биоразнообразия фитопланктона р. Витим отмечено на участке А, этот показатель понижается по направлению к устью реки.

Заключение

Результаты анализа пространственной структуры таксономического состава и количественного развития фитопланктона р. Витим свидетельствуют о его неоднородности на различных участках реки. Это обусловлено закономерной сменой по направлению от истока к устью реки гидрологических, гидрофизических факторов, действующих на фитопланктон.

Участок А р. Витим, где складываются наиболее благоприятные условия для развития планктонной флоры, в значительной степени способствует обогащению биоразнообразия фитопланктона всей р. Витим ниже по течению. С влиянием планктона притоков на участках (В и С) связано увеличение в фитопланктоне р. Витим роли диатомовых водорослей. Это согласуется с положениями концепции речного континуума [28], согласно которой планктон рек формируется под воздействием вышерасположенных участков, а также приточной системы.

По классификации В. Сладечека [11] воды р. Витим относятся к слабозагрязненным. На основе классификации О. П. Оксийук и В. Н. Жукинского [12] по уровню биомассы фитопланктона воды реки на всем ее протяжении имеют разряд «предельно чистые — очень чистые», по индексу сапробности — «достаточно чистые», по комплексу физико-химических показателей — относятся к 2–3-му классам чистоты и характеризуются как «чистые — умеренно-загрязненные».

Полученные данные о структуре фитопланктона и физико-химических параметрах вод р. Витим являются фоновыми и послужат основой биомониторинга речной экосистемы.

* * *

Авторы выражают глубокую признательность д-ру биол. наук Сергею Ивановичу Генкалу (Институт биологии внутренних вод РАН) и д-ру биол. наук Нине Александровне Бондаренко (Лимнологический институт СО РАН) за помощь при идентификации реликтового вида *Pliocaenicus costatus*. А также директору ФГУ «Витимский государственный природный заповедник» Ларисе Григорьевне Чететкиной за оказанное содействие при проведении экспедиции на р. Витим.

Литература

1. Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии. М.: Наука, 1964. 255 с.
2. Бондаренко Н. А., Томберг И. В., Логачева Н. Ф., Тимошкин О. А. Фитопланктон и гидрохимия рек Витим, Мама и Чуя (Забайкалье, бассейн реки Лены) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2010. Т. 3, № 4. С. 70–81.
3. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1973. 269 с.
4. Семенов А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977. 540 с.
5. Габьшиев В. А. Устройство для концентрирования фитопланктона под давлением // Альгология. 2009. Т. 19, № 3. С. 318–320.
6. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. Водоросли: справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
7. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л., 1984. 288 с.

8. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, N 1. 9 p. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (дата обращения: 25.05.2011).
9. Magurran A. E. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton Univ. Pres, 1988. 192 p.
10. Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
11. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // *Archiv für Hydrobiologie und Ergebnisse Limnologie*. 1973. Vol. 7, N 1. P. 1–218.
12. Оксийук О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // *Гидробиологический журнал*. 1993. Т. 29, №4. С. 62–76.
13. Перечень ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / под ред. М. Л. Кашинцева, О. А. Черникова, Н. А. Шиленко, С. А. Соколова, С. Н. Анисова. М., 1995. 141 с.
14. Ермолаев В. И., Ремизайло П. А., Габышев В. А. Водоросли планктона водоемов бассейна озера Таймыр // *Сибирский экологический журнал*. 2003. Т. 10, № 4. С. 381–392.
15. Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии: таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2006. 81 с.
16. Prescott G. M. Ecology of Alaskan freshwater algae. Introduction: general considerations // *Trans. Amer. Microscop. Soc.* 1963. Vol. 82, N 1. P. 83–98.
17. Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л., 1985. 165 с.
18. Бондаренко Н. А. Фитопланктон горных озер Восточной Сибири // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2006. Т. 8, № 1. С. 176–190.
19. Stachura-Suchoples K., Khursevich G. On the genus *Pliocaenicus* Round and Håkansson (Bacillariophyceae) from the Northern Hemisphere. *Proceedings 1 central european diatom meeting*. Berlin, 2007. P. 155–158.
20. Габышев В. А., Габышева О. И. Особенности развития фитопланктона и физико-химических свойств воды р. Индигирка // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2011. № 3. С. 42–50.
21. Gabyshev V. A., Gabysheva O. I. Water quality of the Anabar River indicated by phytoplankton structure and hydrochemical characteristics // *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. Vol. 3, N 4. P. 395–400, DOI: 10.1134/S1995425510040053.
22. Gabyshev V. A., Gabysheva O. I. Phytoplankton of the Amga River and chemical composition of the water: Contemporary State // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. Vol. 4, N 1. P. 15–20, DOI: 10.1134/S1995425511010036.
23. Allan J. D., Castillo M. M. Stream ecology: structure and function of running waters. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2007. 436 p.
24. Габышев В. А., Габышева О. И. К изучению фитопланктона и физико-химических параметров вод р. Оленек // *Вестн. СВНЦ ДВО РАН*. 2010. № 3. С. 51–55.
25. Приймаченко А. Д., Баженова О. П. Современное состояние фитопланктона Енисея и его изменение в результате антропогенного влияния // *Водные ресурсы*. 1990. № 3. С. 104–113.
26. Moore J. W. Ecology of algae in a subarctic stream // *Canadian J. of Botany*. 1977. Vol. 55, N 13. P. 1838–1847.
27. Whitford L. A., Schumacher G. J. Communities of algae in North Carolina streams and their seasonal relations // *J. Hydrobiol.* 1963. Vol. 22, N 1–2. P. 133–196.
28. Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W. The river continuum concept // *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1980. Vol. 37, N 1. P. 130–137.

Статья поступила в редакцию 13 сентября 2012 г.