

Структура фитопланктона и физико-химические параметры вод реки Колымы (Северо-Восточная Сибирь) в летний период

В. А. ГАБЫШЕВ, О. И. ГАБЫШЕВА

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН
677980, Якутск, просп. Ленина, 41
E-mail: v.a.gabyshhev@ibpc.ysn.ru*

АННОТАЦИЯ

Получены первые сведения о фитопланктоне и химическом составе воды р. Колымы от истока до устья. Выявлены особенности формирования фитопланктона на участках с различными гидрологическими условиями. Выявлено, что фитопланктон р. Колымы характеризуется значительным видовым разнообразием. Формирование химического состава и физических параметров вод реки происходит под действием природных факторов, связанных, главным образом, с влиянием вечномёрзлых грунтов. Проведена комплексная оценка качества вод реки по физико-химическим параметрам, сапробным водорослям и биомассе фитопланктона.

Ключевые слова: река Колыма, Северо-Восточная Сибирь, фитопланктон, физико-химические данные воды, качество воды.

Колыма – крупная река арктического бассейна Северо-Восточной Сибири. Длина реки 2600 км, площадь бассейна 665 тыс. км² [1]. Колыма берет начало в отрогах хр. Черского и протекает в зоне сплошного распространения вечномёрзлых грунтов. Сток реки Колымы зарегулирован, функционирует Колымская ГЭС, заполнение водохранилища которой начато в 1980 г. Ожидается ввод в строй второй ГЭС на р. Колыме, в районе пос. Усть-Среднекан (рис. 1).

Река Колыма до сих пор остается труднодоступной для исследователей. О фитопланктоне верхней Колымы опубликовано лишь две работы [2, 3], в которых приводятся результаты изучения видового состава, а также количественных показателей развития и структуры фитопланктона реки на участке зоны затопления Колымской ГЭС до ее постройки. Изучению альгофлоры сред-

ней Колымы посвящена работа Л. Е. Комаренко [4]. Сведения о таксономическом составе фитопланктона реки изложены в статье И. И. Васильевой, Е. В. Пшенниковой [5] и в обзорном докладе И. И. Васильевой-Кральной и др. [6]. Однако во флористической сводке [4] невозможно выделить данные, касающиеся непосредственно фитопланктона реки, а в двух других сообщениях [5, 6] список видов фитопланктона не приводится, поэтому учесть эти результаты при таксономическом анализе фитопланктона в нашем исследовании не представляется возможным. Сведения о межгодовой динамике доминирующих видов планктонных сообществ водорослей нижней Колымы в районе устья р. Омолон, приведенные по отчетам Гидрометслужбы, содержатся в работе А. М. Никанорова и др. [7]. Публикации о гидрохимии р. Колымы недостаточны и разрознены [7].

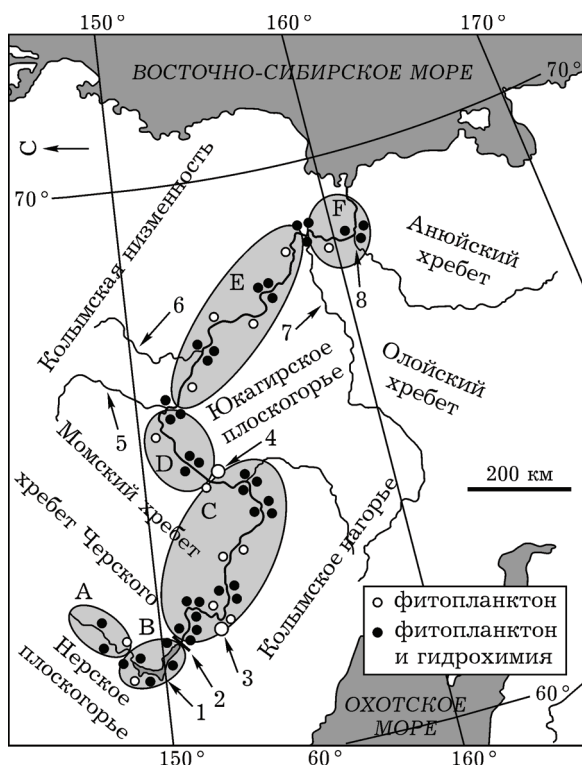


Рис. 1. Географическое положение р. Колымы в Северо-Восточной Сибири и пункты отбора проб: 1 – Колымское водохранилище; 2 – плотина Колымской ГЭС; 3 – пос. Усть-Среднекан; 4 – пос. Ороек; 5 – р. Ожогина; 6 – р. Седедема; 7 – р. Омолон; 8 – р. Анюй; А–F – участки Колымы

Основные задачи исследования – выявить особенности таксономического и эколого-географического состава, количественного развития фитопланктона и гидрохимии вод р. Колымы, а также оценить качество воды на основе биоиндикационных свойств водорослей планктона и гидрохимических параметров.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование основано на материалах сборов, выполненных в период с 21 июля по 7 августа 2010 г. на участке реки от мостового перехода автотрассы “Тенька” через верховья р. Колымы до устья р. Анюй (2010 км) (см. рис. 1). На основе особенностей гидрологического режима и гидрографических характеристик исследованная часть реки условно разделена на шесть участков.

Участок А начинается от мостового перехода автотрассы “Тенька” через верховья

р. Колымы и простирается до начала верхней зоны Колымского водохранилища. Протяженность участка 167 км. Река здесь протекает по Нерскому плоскогорью, имеет извилистое русло со множеством рукавов. Глубина реки меняется от 1 м на перекатах до 3 м на плесах. Скорость течения 1,0–1,5 м/с. Прозрачность воды на этом участке меняется от 1,5 до 2,1 м. Берега реки и дно ее русла сложены в основном галькой. Средняя для участка температура воды 15,8 °С.

Участок В длиной 134 км – собственно Колымское водохранилище. На этом участке Колымы долина суживается, переходя в ущелье. Берега сложены песком, крупной и мелкой галькой. Глубина водохранилища меняется от 4,5 м в верхней зоне до 110 м у плотины ГЭС. Объем водохранилища 14,5 км³, площадь зеркала 440 км². Прозрачность воды по диску Секки 2,0–2,7 м, течение отсутствует. Температура воды колебалась по пунктам наблюдений от 9,5 до 19,4 °С.

Участок С длиной 728 км – от нижнего бьефа плотины Колымской ГЭС до с. Ороек. Река на этом участке протекает по горной стране, долина здесь вновь расширяется. Русло, изобилующее отмелями и перекатами, разбивается на рукава и протоки. Берега и дно сложены преимущественно галькой. Скорость течения меняется от 0,4 м/с на плесах до 2,1 м/с на перекатах. Прозрачность воды 0,8–4,0 м и повышается от верхней границы участка к нижней. Температура воды в среднем для участка 18,5 °С.

Участок D длиной 253 км – от с. Ороек до устья р. Ожогина. Русло реки разбито на протоки со множеством островов, количество отмелей и перекатов снижается. Берега и дно сложены преимущественно галькой, в нижней части участка отмечена большая примесь песка. Скорость течения остается высокой и меняется от 0,3 до 2,1 м/с. Прозрачность воды на этом участке 2,7–3,5 м. Средняя температура воды 20,6 °С.

Участок E длиной 599 км – от устья р. Ожогина до устья р. Омолон. На этом участке Колыма выходит на обширную Колымскую низменность с большим количеством озер и болот. В пределах низменности река протекает вдоль Юкагирского плато. Таким образом, левая часть бассейна Колымы на

этом участке низкая, сложенная аллювиальными отложениями, правая – высокая, гористая. Острова редки, река течет преимущественно единым руслом. Берега и дно песчано-илистые с примесью гальки. Скорость течения на этом участке снижается и не превышает 1,1 м/с, составляя в среднем 0,8 м/с. Прозрачность воды меняется от 1,6 до 2,7 м. Средняя температура воды 17,2 °С.

Участок F длиной 129 км – от устья р. Омолон до устья р. Анюй. Левая часть бассейна реки остается, как и на участке E, низкой и заболоченной, правая – гористая. Острова редки, берега топкие, илистые. Скорость течения еще более снижается и составляет в среднем 0,4 м/с. Прозрачность воды меняется от 1,4 до 3,0 м. Средняя температура воды 13,9 °С.

Всего собрано и обработано 40 проб воды для гидрохимического анализа и 106 планктонных альгологических проб. Пробы отбирали в 53 пунктах на р. Колыме в прибрежной зоне либо по фарватеру из поверхностного горизонта воды (0–0,3 м).

Фиксирование гидрохимических проб в полевых условиях и их анализ выполнены по общепринятым методикам [8, 9]. Компоненты газового режима (O_2 , BPK_5 , 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, гидрокарбонаты – методом обратного титрования, жесткость – комплексонометрическим с эриохром черным, кальций – титрометрическим с трилоном Б, катионы калия и натрия – пламенно-фотометрическим методом. Запах и вкус определены органолептическим методом с применением балловой шкалы. Физические показатели: прозрачность – при помощи диска Секки, цветность – методом определения светопоглозительной способности на приборе СФ-26. Показатели токсического загрязнения воды: железо общее – фотометрическим методом с роданистым аммонием на приборе СФ-26, фенолы, нефтепродукты и АПАВ – методом люминесцентного хроматографирования на приборе “Флюорат-02”. Другие хи-

мические показатели определены следующими методами: 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 фосфорно-молибденового комплекса на приборе СФ-26, фосфор общий – методом персульфатного окисления на приборе СФ-26, ТООВ (по величине ХПК) – фотометрическим методом на приборе “Флюорат-02”, ЛООВ (по величине BPK_5) – методом Винклера (йодометрическое определение).

Образцы для изучения количественного развития фитопланктона объемом 1,5 л концентрированы на мембранных фильтрах “Sartorius” (диаметр пор 1,2 мкм) путем фильтрации под избыточным давлением при помощи устройства для сгущения фитопланктона собственной конструкции [10]. Отбор проб на качественный состав произведен планктонной сетью Апштейна (фильтровальная ткань SEFAR NITEX, размер 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 и рассчитан по данным собственных измерений клеток. При переводе объемных величин в массовые плотность водорослей условно принята равной единице. Анализ таксономической структуры фитопланктона проведен с использованием методов, принятых в сравнительной флористике [11]. Иерархический кластерный анализ выполнен с применением компьютерной программы PAST [12]. Для вычисления коэффициента флористического сходства использован коэффициент Жаккара. Для оценки биологического разнообразия водорослей применен индекс Шеннона – Уивера [13]. Сведения об экологической принадлежности водорослей приведены по работе С. С. Бариновой и др. [14].

Для проведения комплексной оценки качества воды использованы классификации В. Сладечека [15], О. П. Оксийук и др. [16], а также применены нормативы ПДК рыбохозяйственного назначения [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические данные. Воды р. Колымы не имеют вкуса и запаха, обладают высокой степенью прозрачности (до 4,0 м). Прозрачность значительно (до 0,5–1,0 м) понижена в районе устьев некоторых притоков Колымы на участках С и Е. Содержание растворенного кислорода меняется в узких пределах (7,83–9,89 мг/л) и составляет 84–99 % насыщенности, кислородный режим благоприятный. Концентрация диоксида углерода невысокая (3,96–5,48 мг/л). Реакция воды нейтральная до слабощелочной, значения рН меняются по пунктам наблюдений от 6,86 до 7,86. Концентрация взвешенных веществ характеризуется невысокими значениями на всем протяжении реки (10,00–14,20 мг/л). Показатель цветности также низкий – 5–14°.

По компонентному составу главных ионов воды пресные, маломинерализованные (82,96–170,26 мг/л), очень мягкие (0,80–1,66 мг-экв), относятся к гидрокарбонатному классу (21–40 %-экв), группе кальция (21–35 %-экв), II типа. Концентрация компонентов солевого состава меняется на различных участках реки в относительно узких пределах и характеризуется невысокими показателями. Содержание гидрокарбонатов составляет 32,95–87,87 мг/л, сульфат-ионов – 8,17–46,59, ионов кальция – 9,62–33,27, магния – 2,19–13,12, натрия – 5,00–10,00, хлоридов – 2,84–5,32, калия – 0,50–2,00 мг/л.

Для вод реки характерна невысокая концентрация (мг/л) азота нитратного (0,07–0,28), азота нитритного (0,003–0,014), кремния (1,14–2,64), фосфора минерального (0,01–0,11) и фосфора общего (0,02–0,18). Содержание азота аммонийного в водах участка А низкое (0,29–0,36 мг/л). На участке В (водохранилище) концентрация данного компонента повышенная (0,29–0,50 мг/л) и еще более возрастает по направлению течения реки, вплоть до участка F (0,57–0,79 мг/л). Максимальная концентрация зафиксирова-

на в устьях рек Ожогина (0,79 мг/л), Седедема (0,86 мг/л) и Омолон (0,79 мг/л).

Содержание органических веществ также относительно высокое. Концентрация трудноокисляемых органических веществ (по значению ХПК) 35,00–38,70 мг/л, значение перманганатной окисляемости 9,00–14,40 мг/л.

Для большинства показателей токсического загрязнения отмечена низкая концентрация, мг/л: фенолы – 0,0003–0,0004, анионоактивные поверхностные вещества – 0,01–0,02, нефтепродукты – 0,004–0,007. Повышенное содержание отмечено для железа общего – 0,16–1,60 мг/л. Максимальные значения этого компонента зафиксированы в устьях рек Ожогина и Омолон.

Фитопланктон. В результате собственных наблюдений, а также с учетом ранее опубликованных данных [2] в составе планктона выявлено 404 вида водорослей (462 таксона рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида) из 8 отделов, 13 классов, 25 порядков, 59 семейств, 124 родов.

По видовому богатству преобладают представители отдела Chlorophyta (46,0 % от общего числа видов). На втором месте по числу видов Bacillariophyta (35,4 %). Разнообразно представлены водоросли отделов Cyanophyta (6,5 %) и Chrysophyta (4,7 %); Xanthophyta (3,2 %), Euglenophyta (3,0 %) и Dinophyta (1,0 %) меньше. Из Cryptophyta найден один вид.

На уровне классов выделяются Pennatophyceae (33,7 % видового состава), Conjugatophyceae (25,0 %) и Chlorophyceae (21,0 %); на уровне порядков – Raphales (28,0 %), Desmidiaceae (23,8 %) и Chlorococcales (18,1 %).

Наиболее крупные по числу видов 7 семейств включают 212 видов водорослей (52,5 % от общего числа), которые принадлежат к отделам Bacillariophyta и Chlorophyta. В спектре водорослей планктона одно- и двувидовых семейств 27, т. е. 45,8 % от их общего количества.

Анализ родового спектра фитопланктона указывает на неравномерность распределения видов по родам. Ведущие по видовому богатству 10 родов составляют 8,1 % всего родового состава и охватывают 39,4 % общего числа видов. Это представители отделов Chlorophyta и Bacillariophyta. 67,7 % всех

родов водорослей планктона реки являются одно- и двувидами, причем на их долю приходится 28,5 % всего видового состава. Пропорции флоры 1 : 2,1 : 6,8 : 7,8. Родовая насыщенность 3,3. Вариабельность вида 1,1.

В фитопланктоне преобладают планктонные формы и водоросли смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний (48,9 % видового состава); бентосных форм (28,8 %) меньше. Несмотря на то что на многих участках реки отмечена высокая скорость течения, местами до 2,1 м/с, реофилов в фитопланктоне немного (1,7 %). Значительна доля видов, индифферентных к скорости течения (24,5 %); видов, предпочитающих непроточные воды (9,1 %), меньше. В планктоне зафиксировано три вида, предпочитающих хорошо аэрированные воды, это представители диатомей: *Nitzschia terrestris* (Petersen) Hust., *Pinnularia borealis* Ehr. и *Tetracyclus rupestris* (A. Br.) Grun.

Воды реки Колымы маломинерализованные, что обуславливает преобладание в фитопланктоне олигогалобов (61,3 %). Активная реакция вод меняется от нейтральной до слабощелочной, поэтому значительна доля индифферентов (18,8 %), а также алкалифилов и алкалибионтов (в сумме 17,7 %); ацидофилов (7,8 %) меньше, ацидобионты отсутствуют.

По географической принадлежности основу фитопланктона составляют космополиты (57,1 %). В связи с особенностями природных условий региона наибольший интерес представляют альпийские и арктоальпийские организмы, их доля в фитопланктоне составляет 4,5 %. Среди них пять широко распространенных в р. Колыме видов: *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, *Gomphosphaeria lacustris* Chod. f. *compacta* (Lemm.) Elenk., *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Spondylosium planum* (Wolle) W. et G. S. West, *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kütz. Доля бореальных и циркумбореальных видов 6,3 %, среди них лишь один широко распространенный в реке вид – *Tribonema affine* G. S. West. Представителей голарктического географического царства меньше – 5,8 %, среди них широко распространенные в р. Колыме планктонные и планктонно-бентосные виды: *Dictyosphaerium ehrenbergianum* Näg., *Pandorina charkoviensis* Korsch., *Staurastrum cingulum* (W. et G. S. West)

G. M. Smith. Географическое положение р. Колымы объясняет присутствие в планктоне стенотермных холодолюбивых диатомей: *Aulacosira distans* (Ehr.) Simon., *A. distans* var. *alpigena* (Grun.) Simon., *A. islandica* (O. Müll.) Simon., *A. italica* (Kütz.) Simon., *Cymbella laevis* Näg., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *D. hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) Grun., *Eunotia diodon* Ehr., *E. praerupta* Ehr., *E. praerupta* var. *bidens* (W. Sm.) Grun., *Fragilaria pinnata* Ehr. var. *lancectula* (Schum.) Hust., *Gomphonema ventricosum* Greg., *Hannaea arcus* var. *amphioxys* (Rabenh.) Patr., *Pinnularia brevicostata* Cl., *Tetracyclus rupestris*.

Индивидуальный индекс сапробности известен для 292 видов и разновидностей водорослей, выявленных в планктоне реки, что составляет 63,2 % от общего числа таксонов. По отношению к концентрации органических веществ в водной толще состав водорослей-индикаторов на 22,0 % образован β-мезосапробными формами, 16,1 % – олигосапробными, 31,8 % видов, развивающихся в переходной зоне между β-мезо- и олигосапробной. Водорослей, характеризующих воды с высокими показателями сапробности (β-α, α-β, α, ρ-α, β-ρ, ρ), – 8,9 %, с низкими (χ, χ-0, 0-χ, χ-β) – 21,2 %.

Участок А. Видовой состав планктонных водорослей на этом участке Колымы небогат, в фитопланктоне выявлено 57 видов (61 внутривидовой таксон) из шести отделов. По числу видов основу фитопланктона составляют водоросли отделов Bacillariophyta (45,6 % общего числа видов) и Chlorophyta (43,9 %). Chrysophyta и Dinophyta встречено по два вида, Cyanophyta и Xanthophyta – по одному.

Численность фитопланктона на этом участке реки относительно невелика – в среднем 38,3 тыс. кл./л. Однако биомасса довольно высока и достигает 0,1008 мг/л. Основу фитопланктона составляют Bacillariophyta (99,8 % общей численности и 99,1 % общей биомассы фитопланктона).

Структурообразующими видами фитопланктона этого участка реки являются два вида диатомей: доминант – *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr. и субдоминант – *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag. var. *tenuis* (Ag.) V. Н. Это космополиты, водоросли смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний, которые попадают в планктон реки из донных

обрастаний. Этому способствуют быстрое течение и большое количество перекаатов с небольшими глубинами. Заносом в планктон крупноклеточных форм водорослей из обрастаний объясняется повышенный уровень биомассы фитопланктона при его относительно небольшой численности.

Индекс биоразнообразия участка А варьирует по различным пунктам наблюдений от 3,48 до 3,92. Индекс сапробности составляет в среднем для участка 1,70.

Участок В (Колымское водохранилище).

Видовое богатство планктона на этом участке возрастает до 107 видов (112 видов и разновидностей) водорослей, которые относятся к семи отделам. Доля представителей Chlorophyta в видовом составе фитопланктона увеличивается по сравнению с предыдущим участком до 49,5 %, а Bacillariophyta – уменьшается до 34,6 %. Повышается видовое разнообразие Chrysophyta (6,5 % от общего числа видов фитопланктона) и Cyanophyta (3,7 %). Менее разнообразно представлены водоросли отделов Dinophyta (2,8 %) и Euglenophyta (1,9 %), из Xanthophyta встречен один вид.

Уровень вегетации фитопланктона Колымского водохранилища относительно низкий – 17,1 тыс. кл./л и 0,0154 мг/л. В планктоне преобладают Chrysophyta (71,2 % общей численности и 48,3 % общей биомассы фитопланктона). Bacillariophyta на втором месте (28,2 и 40,6 %). Доля представителей других отделов водорослей незначительна.

Набор структурообразующих видов фитопланктона меняется в сравнении с вышерасположенным участком реки. Доминантами являются представители отдела Chrysophyta – *Dinobryon divergens* Imhof и *D. cylindricum* Imhof и Bacillariophyta – *Diatoma elongatum* f. *actinastroides* (Krieg) Pr.-Lavr. Субдоминанты из отдела Bacillariophyta *Diatoma elongatum* var. *tenue*, *Synedra ulna*, *Asterionella formosa* Hass. Это планктонные и планктонно-бентосные формы, космополиты.

Индекс биоразнообразия меняется по пунктам отбора проб от 2,03 до 4,35. Индекс сапробности – 1,55.

Участок С. Видовое богатство фитопланктона на этом участке реки еще более возрастает и достигает 221 вида (242 внутривидовых таксона) из семи отделов. По числу ви-

дов преобладают представители отдела Chlorophyta (48,9 % общего числа видов), на втором месте – Bacillariophyta (32,6 %). Разнообразно представлены водоросли отделов Cyanophyta (6,8 %) и Chrysophyta (5,9 %), Euglenophyta (2,3 %) меньше, из Dinophyta и Xanthophyta встречено по 4 вида.

Показатели количественного развития фитопланктона этого участка реки несколько возрастают в сравнении с Колымским водохранилищем – 64,7 тыс. кл./л, 0,0503 мг/л. По численности основу фитопланктона составляют представители Bacillariophyta (63,7 % численности фитопланктона) и Chrysophyta (28,5 %). По уровню развития биомассы преобладают Bacillariophyta (74,7 % биомассы фитопланктона), Chlorophyta (12,8 %) и Chrysophyta (12,0 %) меньше. Доля водорослей других отделов в количественном развитии фитопланктона незначительна.

Доминантами являются представители Chrysophyta и Bacillariophyta – *Dinobryon sociale* Ehr. и *Asterionella gracillima* (Hantzsch) Heib., субдоминант – *Diatoma elongatum* var. *tenue*. Это планктонные и планктонно-бентосные водоросли, космополиты. Значительная роль водорослей отдела Chrysophyta в планктоне этого участка реки, очевидно, обусловлена влиянием планктонной флоры расположенного выше Колымского водохранилища.

Индекс биоразнообразия варьирует от 2,65 до 5,19. Индекс сапробности – 1,61.

Участок D. В планктоне этого участка выявлено 172 вида водорослей (186 внутривидовых таксонов) из семи отделов. Как и на участке С, здесь по числу видов преобладают представители Chlorophyta (49,4 % общего числа видов). Водоросли отдела Bacillariophyta на втором месте (35,5 %). Разнообразно представлены Chrysophyta (5,8 %) и Cyanophyta (5,2 %), Dinophyta и Euglenophyta (по 1,7 %) меньше, из Xanthophyta встречен один вид.

Уровень вегетации фитопланктона несколько возрастает по сравнению с вышерасположенным участком – 161,0 тыс. кл./л, 0,0764 мг/л. Основу фитопланктона составляют Bacillariophyta (63,4 % численности, 62,9 % биомассы). В составе численности планктона, как и на участке С, значительная доля сохраняется за представителями Chrysophyta (20,5 %). Доля Chlorophyta в биомассе фито-

планктона описываемого участка реки 21,3 %, Chrysophyta – 15,5 %. Вклад водорослей других отделов в формирование численности и биомассы фитопланктона незначителен.

Состав структурообразующих видов фитопланктона на данном участке реки в сравнении с вышерасположенным меняется незначительно – это представители отделов Bacillariophyta и Chrysophyta. Доминирует *Asterionella gracillima*, субдоминантами являются *Synedra tabulata* (Ag.) Kütz. и *Dinobryon sociale*. Комплекс структурообразующих видов на описываемом участке образован космополитами, планктонными водорослями, а также одним обитателем бентоса. Скорость течения реки остается высокой, что способствует попаданию в планктон водорослей из обрастающих, часть из которых продолжает активно вегетировать.

Индекс биоразнообразия на данном участке меняется по пунктам отбора проб от 3,37 до 5,19. Индекс сапробности 1,92.

Участок Е. Фитопланктон данного участка образован 233 видами (254 внутривидовыми таксонами) из семи отделов. Доля Chlorophyta в видовом составе фитопланктона несколько возрастает в сравнении с вышерасположенными участками реки (54,5 % от общего числа видов), а Bacillariophyta – снижается (26,6 %). Разнообразно представлены Cyanophyta (7,3 %), обогащается в сравнении с вышерасположенными участками реки состав Xanthophyta (3,4 %) и Euglenophyta (3,0 %), а доля Chrysophyta уменьшается (3,4 %), из Dinophyta встречено четыре вида.

Количественные показатели развития фитопланктона данного участка еще более возрастают в сравнении с вышерасположенными – 831,4 тыс. кл./л, 0,1396 мг/л. Основу численности планктонных водорослей на этом участке реки составляют Cyanophyta (66,0 % общей численности фитопланктона), Chlorophyta на втором месте (19,1 %), доля Bacillariophyta меньше (14,2 %). В сложении биомассы фитопланктона преобладают Bacillariophyta (42,5 % общей биомассы фитопланктона), однако значительную долю составляют Chlorophyta (30,5 %) и Cyanophyta (25,0 %). Значение представителей других отделов водорослей в формировании количественных показателей развития фитопланктона данного участка реки невелико.

Набор доминирующих видов на этом участке реки меняется в сравнении с вышерасположенными. Доминантом является представитель Cyanophyta *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, субдоминанты – из отделов Bacillariophyta и Cyanophyta: *Asterionella gracillima*, *Anabaena scheremetievii* Elenk., *Aulacosira granulata* (Ehr.) Simon. Это планктонные и планктонно-бентосные водоросли, космополиты.

На формирование планктонных сообществ водорослей на этом участке значительное влияние оказывают крупные левобережные притоки – реки Ожогина и Седедема. Это хорошо прогреваемые реки с медленным течением, протекающие по обширной Колымской низменности с большим количеством болот и озер (см. рис. 1). В этих реках создаются благоприятные условия для развития как автохтонной, так и заносной (из многочисленных стоячих водоемов бассейна) планктонной флоры. В районе устьев этих притоков в планктоне Колымы отмечены пики развития фитопланктона – 1623,5 тыс. кл./л и 0,2151 мг/л (р. Ожогина), 2475,6 тыс. кл./л и 0,2514 мг/л (р. Седедема). Повышение в планктоне Колымы численности и биомассы Chlorophyta, особенно Cyanophyta, происходит непосредственно у устьев этих притоков и сохраняется на протяжении всего описываемого участка Колымы как в прибрежных пробах, так и по фарватеру. Так, доля Cyanophyta в фитопланктоне Колымы у устья р. Ожогина составила 80,3 % общей численности и 49,0 % общей биомассы, а у устья р. Седедема – 82,4 и 76,4 % соответственно.

Индекс биоразнообразия варьирует от 4,30 до 4,92. Индекс сапробности – 1,68.

Участок Ф. Фитопланктон этого участка представлен 187 видами (205 внутривидовыми таксонами) из семи отделов. По числу видов преобладают представители Chlorophyta (49,7 % общего числа видов), Bacillariophyta на втором месте (34,2 %). Разнообразно представлены водоросли отдела Cyanophyta (9,1 %). Chrysophyta становится меньше в сравнении с вышерасположенными участками реки (3,2 %), беден видовой состав Dinophyta и Xanthophyta (по 1,6 %), из Euglenophyta встречен один вид.

Показатели количественного развития фитопланктона этого участка реки ниже, чем

на участке Е, – 221,4 тыс. кл./л, 0,0571 мг/л. Bacillariophyta на первом месте в фитопланктоне как по численности (47,8 % общей численности), так и по биомассе (70,8 % общей биомассы). Значительную роль в составе фитопланктона на этом участке сохраняют представители Cyanophyta (42,8 % общей численности, 16,2 % общей биомассы). Доля Chlorophyta в численности и биомассе фитопланктона описываемого участка реки меньше, соответственно 6,8 и 7,7 %, Chrysophyta – 2,6 и 4,1 %. Вклад водорослей других отделов в формирование численности и биомассы фитопланктона незначителен.

Структурообразующий комплекс видов фитопланктона образован представителями Bacillariophyta и Cyanophyta – планктонными и планктонно-бентосными водорослями, космополитами. Доминантом является *Aulacosira granulata*, субдоминантами – *Asterionella gracillima*, *Aphanizomenon flos-aquae*.

На этом участке на планктон реки значительное влияние оказывает правобережный приток – р. Омолон. Это самый крупный приток Колымы, берущий начало в хребтах Колымского нагорья и протекающий по Юкагирскому плато (см. рис. 1). Бассейн Омолона расположен в горной стране, река слабо прогревается – температура воды в устье, по данным наших измерений, составляет 12,0 °С. В реке неблагоприятные условия для развития планктонной флоры. Фитопланктон р. Колымы в районе устья р. Омолон крайне беден как по числу видов (58), так и по численности (3,4 тыс. кл./л) и биомассе (0,0119 мг/л). Обеднение фитопланктона описываемого участка наблюдается и в других пунктах наблюдений, расположенных ниже устья р. Омолон.

Индекс биоразнообразия меняется по пунктам отбора проб от 2,66 до 5,03. Индекс сапробности 1,73.

Таким образом, для вод р. Колымы характерно невысокое содержание большинства химических элементов. Низкие показатели минерализации и жесткости обусловлены влиянием многолетнемерзлых грунтов, ограничивающих дренаж почвы. Относительно высокие показатели, отмеченные для азота аммонийного, трудноокисляемых органических веществ, перманганатной окисляемости и железа общего, характерны для рек се-

верных регионов, протекающих в зоне многолетней мерзлоты [18]. Повышенное содержание данных компонентов в водах реки вызвано интенсивными процессами оттаивания и размывания грунтов в летний период и имеет природный характер. Индекс соотношения легкоокисляемых органических веществ (по величине БПК₅) к перманганатной окисляемости составляет 5–9 единиц, что указывает на естественные процессы разложения донных отложений, которые ведут к накоплению в водах реки органических веществ. На химический состав вод р. Колымы значительное влияние оказывают водохранилище и крупные притоки – реки Ожогина, Седедема и Омолон.

Полученные нами данные о концентрации большинства химических компонентов вод согласуются с имеющимися сведениями о гидрохимии устьевой области реки [7]. Однако по результатам наших исследований содержание фенолов и нефтепродуктов на порядок ниже значений, указанных А. М. Никаноровым и др. [7], – 0,005 и 0,05 мг/л соответственно. Следует отметить, что авторы в своей работе оперируют данными из ежегодников Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды за 1979–1994 гг. Этот временной отрезок включает период наиболее активной хозяйственной деятельности в регионе, проявившейся в объемах судоходства, численности населенных пунктов и количестве бытовых стоков. После экономического спада 90-х гг. XX в. нагрузка на водную экосистему Северо-Восточной Сибири значительно снизилась. Этим, на наш взгляд, может быть обусловлено снижение концентрации двух упомянутых токсичных компонентов.

Полученные сведения о фитопланктоне р. Колымы свидетельствуют о его значительном видовом разнообразии. Например, в планктоне других рек Арктического бассейна Северо-Восточной Сибири – Анабар и Оленек выявлено соответственно 221 и 240 видов водорослей [19, 20]. В планктоне рек, протекающих на юге Восточной Сибири, – Амга и Алдан 216 и 166 видов соответственно [21, 22]. Для фитопланктона средней Лены известно 456 видов [23], для р. Яны – 330 [24, 25], однако это результат многолетних наблюдений, а не разовых сборов.

Основу выявленного списка фитопланктона р. Колымы на 87,9 % составляют Chlorophyta, Bacillariophyta и Cyanophyta, что характерно для рек Севера Сибири и регионов североамериканского сектора Арктики [26–28].

Биоразнообразие планктонной флоры возрастает по направлению от верховья к устью за счет приточной системы и увеличения числа биотопов в самой реке. Подобное явление отмечено и для других рек Сибири [19–21, 25, 29, 30] и Европы [31]. Индекс биоразнообразия фитопланктона Колымы повышается по направлению к ее устью.

Показатели численности и биомассы фитопланктона низкие и варьируют в пределах 3,4–2475,6 тыс. кл./л и 0,0020–0,2514 мг/л. Полученные нами данные согласуются с имеющимися сведениями о численности фитопланктона в нижнем течении реки, которая варьирует в различные сезоны и годы наблюдений от 27 тыс. до 1900 тыс. кл./л [7]. По количественному развитию основу фитопланктона большинства исследованных участков реки составляют Bacillariophyta, что характерно и для других крупных северных рек [20, 25, 26, 30, 32, 33]. Исключение составляют Колымское водохранилище, где по численности и биомассе преобладают Chrysophyta, и низовья р. Колымы (на участках Е, F), где водоросли отдела Cyanophyta доминируют по численности. Доминирование Chrysophyta летом и осенью в фитопланктоне северных и горных олиготрофных и слабопроточных водоемов неоднократно отмечено рядом исследователей [34–36]. Массовое развитие Cyanophyta характерно для хорошо прогреваемых медленно текущих рек разных регионов мира [37].

Согласно концепции речного континуума, планктон рек формируется под воздействием вышерасположенных участков, а также приточной системы [38]. Большое влияние на фитопланктон Колымы на участках С и D оказывает Колымское водохранилище, что проявляется в повышенном уровне развития видов рода *Dinobryon* из Chrysophyta. Фитопланктон Колымы на участках Е и F испытывает сильное влияние левобережных притоков (Седедема и Ожогина), ниже которых резко повышается численность Cyanophyta. На участке F после впадения правобережного притока (р. Омолон) происходит некото-

рое понижение уровня вегетации фитопланктона.

В целом уровень количественного развития фитопланктона Колымы повышается по направлению от верховья к устью. Это обусловлено главным образом тем, что в низовье реки значительно снижается скорость течения – основной фактор, лимитирующий развитие планктона [39]. Исключением является высокий уровень биомассы фитопланктона в верховьях реки (на участке А), что обусловлено заносом в планктон крупноклеточных форм водорослей из донных обрастаний. Аналогичный факт отмечен в развитии фитопланктона других рек региона, где для верховий характерны быстрое течение и множество перекатов с небольшими глубинами [20, 21].

Согласно рассчитанным коэффициентам общности видового состава фитопланктона, наибольшую степень сходства имеют участки реки со смежным расположением и сходными условиями обитания водорослей (рис. 2). Изменение флористического состава на границе участков В и С связано со сменой гидрологического режима ниже плотины ГЭС. Другое изменение обнаруживается на границе участков D и E, где Колыма выходит из горной области на территорию Колымской низменности.

В составе структурообразующих видов фитопланктона обнаружены космополиты, планктонные и планктонно-бентосные формы, а также один представитель бентосной флоры. Водоросли отдела Bacillariophyta вхо-

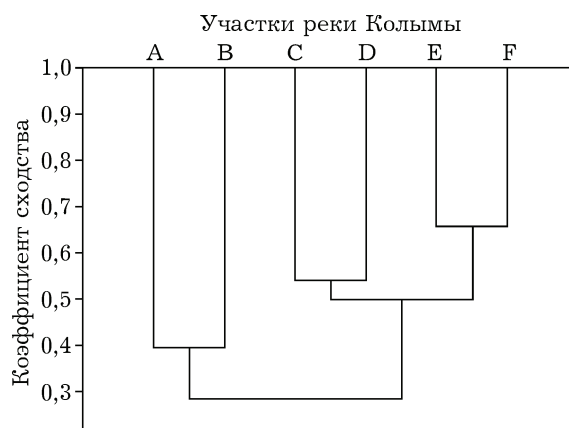


Рис. 2. Дендрограмма иерархического кластерного анализа флористического сходства фитопланктона различных участков р. Колымы

дят в комплекс структурообразующих видов фитопланктона на всем протяжении реки. В фитопланктоне Колымского водохранилища и расположенного ниже участка С р. Колымы в числе доминантов появляются представители отдела Chrysophyta. Далее по течению реки (на участке D) Chrysophyta входят в число субдоминантов. В низовье реки (на участках Е и F) среди доминантов и субдоминантов кроме Bacillariophyta появляются представители Суанорфита. Полученные нами сведения о наборе доминантов подтверждаются данными многолетних наблюдений Гидрометслужбы в нижнем течении реки в районе устья р. Омолон (граница участков Е и F) [7]. В течение ряда лет исследователи отмечали в числе водорослей-эдификаторов такие виды, как *Aulacosira granulata* и *Aphanizomenon flos-aquae*.

По классификации Сладечека [15], воды р. Колымы относятся к слабозагрязненным. На основе классификации О. П. Оксик и др. [16], относительно уровня биомассы фитопланктона воды имеют разряд “предельно чистые – чистые”, по индексу сапробности – “чистые – удовлетворительной чистоты”; по комплексу физико-химических показателей “чистые – умеренно загрязненные” 1–4-го класса качества. Превышение ПДК зафиксировано по трем компонентам: железо общее (1,6–16,0 ед.), трудноокисляемые органические вещества (2,3–2,6) и азот аммонийный (1,0–2,3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование химического состава и физических параметров вод р. Колымы происходит под действием природных факторов, связанных, главным образом, с влиянием вечномерзлых грунтов.

Развитие фитопланктона лимитируется течением реки.

Результаты анализа пространственной структуры таксономического состава и количественного развития фитопланктона свидетельствуют о его неоднородности на различных участках реки. Это согласуется с положениями концепции речного континуума [38] и обусловлено закономерной сменой по направлению от истока к устью реки гидрологических, физико-химических факторов, действующих на фитопланктон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии. М.: Наука, 1964. 255 с.
2. Кузьмин Г. В. Видовой состав фитопланктона водоемов зоны затопления Колымской ГЭС: Препринт. Магадан: Институт биологических проблем Севера ДВНЦ АН СССР, 1985. 41 с.
3. Кузьмин Г. В. Биомасса и структура планктонных фитоценозов пойменных водоемов зоны затопления Колымской ГЭС // Экология, распространение и жизненные формы растений Магаданской области. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 83–98.
4. Комаренко Л. Е. Диатомовые водоросли р. Колымы // Изв. СО АН СССР. 1960. № 3. С. 81–86.
5. Васильева И. И., Пшенникова Е. В. Водоросли реки Колымы и водоемов ее бассейна (Россия) // Альгология. 1996. Т. 6, № 1. С. 35–41.
6. Васильева-Кралина И. И., Копырина Л. И., Пшенникова Е. В. Водоросли бассейна реки Колымы // Материалы II Всерос. конф. «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге». Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 198–200.
7. Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Косменко Л. С., Решетняк О. С. Устьевая область р. Колымы в современных условиях антропогенного воздействия // Метеорология и гидрология. 2011. № 8. С. 74–88.
8. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 269 с.
9. Семенов А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 540 с.
10. Габышев В. А. Устройство для концентрирования фитопланктона под давлением // Альгология. 2009. Т. 19, № 3. С. 318–320.
11. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 288 с.
12. Hammer Ш., 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. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
13. Magurran A. E. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton Univ. Pres, 1988. 192 p.
14. Баринаева С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
15. 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.
16. Оксик О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
17. Перечень ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: Роскомрыболовство, 1995. 141 с.
18. Венглинский Д. Л., Лабутина Т. М., Огай Р. И. и др. Особенности экологии гидробионтов нижней Лены. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. 184 с.
19. Габышев В. А., Габышева О. И. К изучению фитопланктона и физико-химических параметров вод р. Оленек // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010а. № 3. С. 51–55.

20. Gabyshev V. A., Gabysheva O. I. Water quality of the Anabar River indicated by phytoplankton structure and hydrochemical characteristics // *Contemporary Problems of Ecology*. 2010b. Vol. 3, N 4. P. 395–400.
21. 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.
22. Габышев В. А., Ремигайло П. А. Таксономический состав фитопланктона реки Алдан (Якутия) // *Ботан. журн.* 2009. Т. 94, № 12. С. 1771–1777.
23. Ремигайло П. А., Габышев В. А., Габышева О. И. Фитопланктон и химический состав воды средней Лены в зоне воздействия антропогенных факторов // *Проблемы региональной экологии*. 2010. № 2. С. 137–141.
24. Комаренко Л. Е. Планктон бассейна реки Яны. М.: Наука, 1968. 151 с.
25. Габышев В. А., Габышева О. И. Особенности развития фитопланктона и физико-химические свойства вод реки Яны в летний период // *Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология*. 2010. Т. 3, № 4. С. 82–94.
26. Приймаченко А. Д., Шевелева Н. Г., Покатилова Т. Н. и др. Продукционно-гидробиологические исследования Енисея. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993. 197 с.
27. Ермолаев В. И., Ремигайло П. А., Габышев В. А. Водоросли планктона водоемов бассейна озера Таймыр // *Сиб. экол. журн.* 2003. Т. 10, № 4. С. 381–392.
28. Prescott G. M. Ecology of Alaskan freshwater algae. Introduction: general considerations // *Trans. Amer. Microscop. Soc.* 1963. Vol. 82, N 1. P. 83–98.
29. Науменко Ю. В. Фитопланктон реки Оби: дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1996. 274 с.
30. Приймаченко А. Д., Баженова О. П. Современное состояние фитопланктона Енисея и его изменение в результате антропогенного влияния // *Водные ресурсы*. 1990. № 3. С. 104–113.
31. Приймаченко А. Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1981. 280 с.
32. Moore J. W. Ecology of algae in a subarctic stream // *Canadian J. of Botany*. 1977. Vol. 55, N 13. P. 1838–1847.
33. Whitford L. A., Schumacher G. J. Communities of algae in North Carolina streams and their seasonal relations // *J. Hydrobiologia*. 1963. Vol. 22, N 1-2. P. 133–196.
34. Кухаренко Л. А. Водоросли пресных водоемов Приморского края. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 152 с.
35. Матвеев А. Н., Самусенок В. П., Рожкова Н. А. и др. Биота Витимского заповедника: структура биоты водных экосистем. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2006. 256 с.
36. Tolotti M. Phytoplankton and littoral epilithic diatoms in high mountain lakes of the Adamello-Brenta Regional Park (Trentino, Italy) and their relation to trophic status and acidification risk // *J. of Limnology*. 2001. Vol. 60, N 2. P. 171–188.
37. Komárek J. Coccoid and colonial cyanobacteria // *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. USA: Elsevier Science, 2003. P. 59–116.
38. Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept // *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1980. Vol. 37, N 1. P. 130–137.
39. Allan J. D., Castillo M. M. Stream ecology structure and function of running waters. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2007. 436 p.

The Structure of Phytoplankton and Physicochemical Characteristics of the Kolyma River (Northeastern Siberia) in Summer

V. A. GABYSHEV, O. I. GABYSHEVA

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS
677980, Yakutsk, Lenin ave., 41*

E-mail: v.a.gabyshev@ibpc.yasn.ru

The first results of the study of phytoplankton and chemical composition of water of the entire Kolyma River are reported. The study revealed spatial structure of the phytoplankton communities in river sections with various hydrologic conditions. High diversity of phytoplankton in the Kolyma river was established. It was established that the physicochemical characteristics of water are determined by environmental factors, mainly permafrost soils. Water quality was estimated from phytoplankton bioindicators and chemical characteristics of water.

Key words: the Kolyma River, northeastern Siberia, phytoplankton, physicochemical characteristics, water quality.