

УДК (574.583+556.114)(282.256.82)

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ р. ИНДИГИРКА

В. А. Габышев, О. И. Габышева

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск
E-mail: v.a.gabyshev@ibpc.ysn.ru*

Впервые для Индигирки – крупной арктической реки, получены подробные сведения о развитии фитопланктона и физико-химическом составе воды. Существенно пополнены имевшиеся знания о таксономическом составе планктонных водорослей северной реки. Выявлены основные особенности пространственной структуры таксономического состава и количественного развития фитопланктона Индигирки. Проведена комплексная оценка качества вод реки по биоиндикационным свойствам водорослей планктона и гидрохимическим параметрам. Полученные данные о структуре фитопланктона и физико-химических параметрах вод р. Индигирка являются фоновыми и послужат основой биомониторинга речной экосистемы.

Ключевые слова: р. Индигирка, фитопланктон, физико-химические параметры воды, фоновые данные, качество воды.

ВВЕДЕНИЕ

Индигирка – крупная река арктического бассейна Восточной Сибири, ее длина 1900 км, площадь бассейна 362 тыс. км². Индигирка от верховьев до устья р. Селеннях пересекает горную страну. Участок реки от устья р. Селеннях до впадения в Восточно-Сибирское море целиком расположен в пределах низменности (Чистяков, 1964) (см. рисунок). Река малоосвоена человеком и характеризуется ненарушенным состоянием природных комплексов. В ее бассейне разведаны богатые месторождения полезных ископаемых. Вследствие развития добывающей промышленности в регионе неизбежно начнется их разработка, что вызовет риск ухудшения экологической обстановки. Поэтому необходимо получить фоновые данные о водных экосистемах Индигирки, которые в дальнейшем послужат основой биомониторинга.

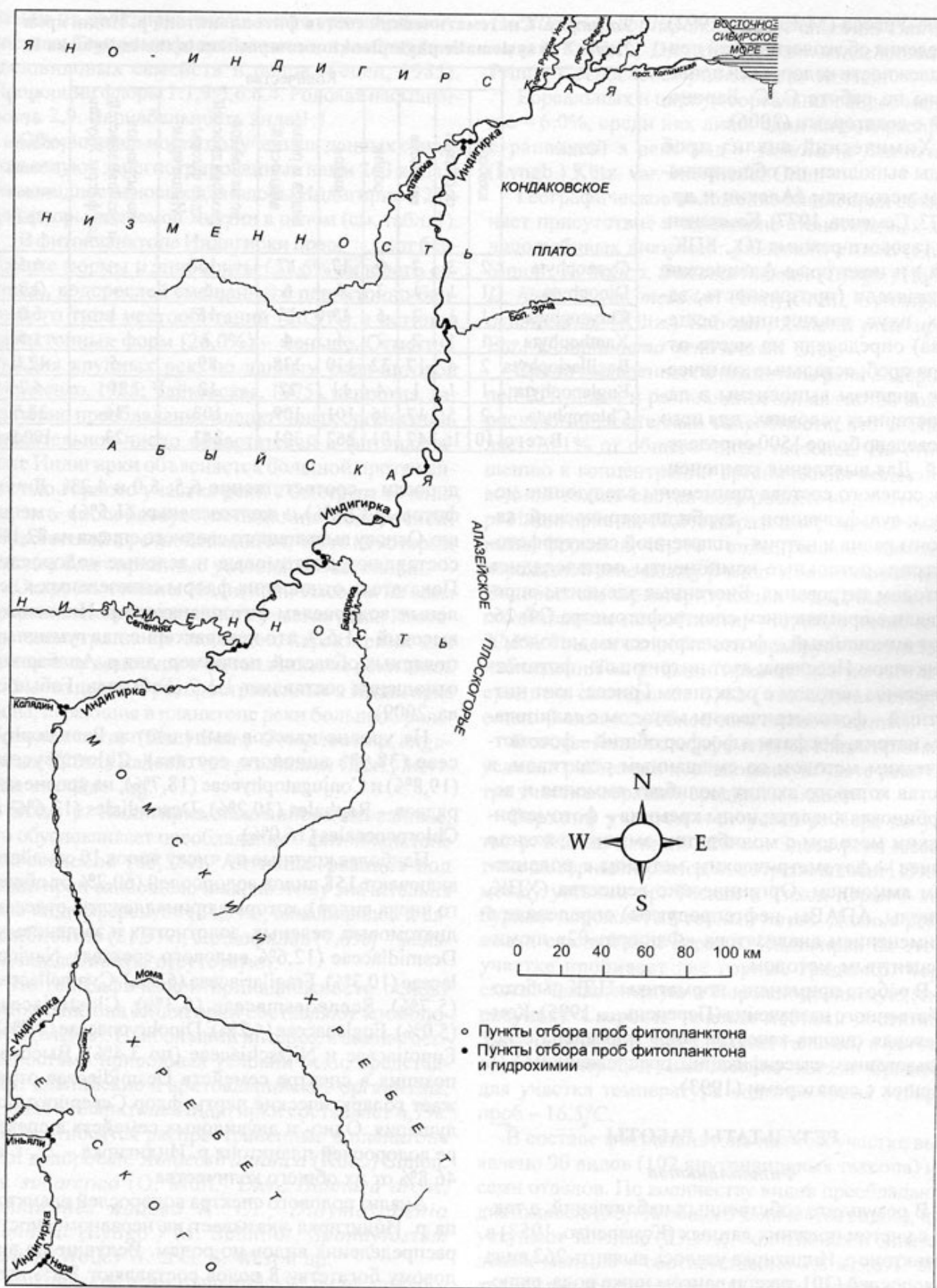
Единственные сведения о водорослях р. Индигирка приводятся в работе Л. Е. Комаренко (1957), основанной на сборах фитопланктона, осуществленных ихтиологическим отрядом якутского Института биологии в 1944 г. Пробы отбирали в среднем и нижнем течении р. Индигирка, на участке от устья р. Мома до дельты. Автор констатирует бедность видового состава фитопланктона Индигирки и приводит лишь 46 видов из 4 отделов, объясняя это недостаточной полнотой отобранного материала.

Данные о гидрохимии р. Индигирка имеются лишь в разрозненном виде; публикации, посвященные изучению физико-химических параметров вод реки, отсутствуют.

Цель работы – изучение особенностей таксономического и эколого-географического состава и количественного развития фитопланктона и гидрохимии вод р. Индигирка, оценка качества вод реки по биоиндикационным свойствам водорослей планктона и гидрохимическим параметрам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование основано на сборах, выполненных в июне-июле 2009 г. на участке Индигирки протяженностью 1246 км, от устья р. Нера до устья р. Аллаиха (см. рисунок). Всего собрано и обработано 68 планктонных альгологических проб и 26 проб воды для гидрохимического анализа. Пробы воды отобраны в прибрежной зоне или по фарватеру из поверхностного горизонта (0–0,3 м). 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 (Габышев, 2009). Пробы на качественный состав отбирали планктонной сетью Апштейна (фильтровальная ткань SEFAR NITEX, размер ячеек 30 мкм). Микроскопирование препаратов выполнено с применением микроскопа Olympus BH-2. Анализ так-



Карта-схема района работ
A schematized map of the study area

сономической структуры фитопланктона проведен с использованием стандартных методов, принятых в сравнительной флористике (Шмидт, 1984).

При флористическом анализе использован коэффициент Серенсена. Для оценки биологического разнообразия водорослей применен индекс Шен-

нона-Уивера (Мэгарран, 1992). Сведения об экологической принадлежности водорослей приведены по работе С. С. Бариновой с соавторами (2006).

Химический анализ проб воды выполнен по общепринятым методикам (Алекин и др., 1973; Семенов, 1977). Компоненты газового режима (O_2 , БПК₅, CO_2) и некоторые физические показатели (прозрачность, запах, вкус, взвешенные вещества) определяли на месте отбора проб; остальные химические анализы выполнены в лабораторных условиях, для чего проведено более 1500 определений. Для выявления компонентов солевого состава применены следующие методы: сульфат-анион – турбидиметрический; катионы калия и натрия – пламенной спектрофотометрии; остальные компоненты определялись методом титрования. Биогенные элементы определяли с применением спектрофотометра СФ-26: азот аммонийный – фотометрическим методом с реактивом Несслера; азот нитритный – фотометрическим методом с реактивом Грисса; азот нитратный – фотометрическим методом с салицилатом натрия; фосфаты и фосфор общий – фотометрическим методом со смешанным реактивом, в состав которого входит молибдат аммония и аскорбиновая кислота; ионы кремния – фотометрическим методом с молибдатом аммония; железо общее – фотометрическим методом с роданистым аммонием. Органические вещества (ХПК, фенолы, АПАВы, нефтепродукты) определяли с применением анализатора «Флюорат-02» люминесцентным методом.

В работе применены нормативы ПДК рыбохозяйственного назначения (Перечень..., 1995). Комплексная оценка качества воды проведена с использованием классификации, предложенной О. П. Оксийук с соавторами (1993).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Фитопланктон

В результате собственных наблюдений, а также с учетом прежних данных (Комаренко, 1957) в планктоне р. Индигирка удалось выявить 262 вида водорослей (301 таксон рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида) из 7 отделов, 10 классов, 16 порядков, 47 семейств, 91 рода (табл. 1).

По видовому богатству преобладают представители отдела диатомовых водорослей (42,0% от общего числа видов). На втором месте по числу видов зеленые (38,5%). Разнообразно представлены синезеленые, золотистые и эвгленовые во-

Таблица 1. Систематический состав фитопланктона р. Индигирка
Table 1. A systematic phytoplankton composition in the Indighirka R.

Отдел	Количество								% от общего кол-ва видов (262)
	классов	порядков	семейств	родов	видов	видов и разно-видностей	новых видов и разновидностей для флоры Индигирки	новых видов и разновидностей для флоры Якутии	
Cyanophyta	2	3	7	9	17	17	15	–	6,5
Dinophyta	1	1	1	3	6	6	6	–	2,3
Chrysophyta	1	1	2	5	13	15	15	1	5,0
Xanthophyta	1	1	2	2	4	4	3	–	1,5
Bacillariophyta	2	4	17	32	110	138	89	5	42,0
Euglenophyta	1	1	1	4	11	12	12	1	4,2
Chlorophyta	2	5	17	36	101	109	103	16	38,5
Всего	10	16	47	91	262	301	243	23	100,0

доросли – соответственно 6,5; 5,0 и 4,2%. Динофитовых (2,3%) и желтозеленых (1,5%) – меньше. Основу выявленного сводного списка на 82,1% составляют диатомовые и зеленые водоросли. Показатель отношения флоры синезеленых к зеленым водорослям фитопланктона р. Индигирка высокий – 1:5,9, что нехарактерно для гумидных полярных областей, например, для р. Анабар это отношение составляет 1:1,7 (Габышев, Габышева, 2009).

На уровне классов выделяются Pennatophyceae (38,9% видового состава), Chlorophyceae (19,8%) и Conjugatophyceae (18,7%); на уровне порядков – Raphales (30,2%), Desmidiaceae (17,6%) и Chlorococcales (16,0%).

Наиболее крупные по числу видов 10 семейств включают 158 видов водорослей (60,2% от общего числа видов), которые принадлежат к отделам диатомовых, зеленых, золотистых и эвгленовых: Desmidiaceae (12,6% видового состава), Naviculaceae (10,3%), Fragilariaceae (6,5%), Cymbellaceae (5,7%), Scenedesmaceae (5,3%), Closteriaceae (5,0%), Euglenaceae (4,2%), Dinobryonaceae (3,8%), Eunotiaceae и Nitzschiaceae (по 3,4%). Высокая позиция в спектре семейств Desmidiaceae отражает голарктические черты флор Северного полушария. Одно- и двувидовых семейств в спектре водорослей планктона р. Индигирка – 22, т. е. 46,8% от их общего количества.

Анализ родового спектра водорослей планктона р. Индигирка указывает на неравномерность распределения видов по родам. Ведущие по видовому богатству 8 родов составляют 8,8% всего родового состава и охватывают 30,7% общего числа видов. Это представители отделов диатомовых и зеленых: *Cymbella* (5,3% видового состава), *Closterium* (5,0%), *Navicula* (4,6%), *Eunotia* (3,4%), *Synedra*, *Pinnularia*, *Nitzschia* и *Cosmarium* (по 3,1%). 68,1% всех родов водорослей планктона реки являются одно- и двувидовыми, при-

чем на их долю приходится около трети видового состава. Северные флоры отличает преобладание маловидовых семейств и родов (Гецен, 1985). Пропорции флоры 1:1,9:5,6:6,4. Родовая насыщенность 2,9. Вариабельность вида 1,1.

Об оригинальности полученных данных свидетельствуют зарегистрированные нами 243 вида и разновидности новых для флоры Индигирки и 23 – для флоры водоемов Якутии в целом (см. табл. 1).

В фитопланктоне Индигирки преобладают бентосные формы и эпибионты (31,6% видового состава), водорослей смешанного планктонно-бентосного типа местообитаний (26,9%) и истинно планктонных форм (26,0%) – меньше. Отметим, что для крупных рек, по данным ряда авторов (Науменко, 1985; Чайковская, 1975), напротив, характерно преобладание планктонных организмов. Значительное число обрастателей в фитопланктоне Индигирки объясняется большой протяженностью горного участка реки с быстрым течением, что способствует попаданию водорослей-обрастателей в речной планктон, часть из которых находит благоприятные условия для вегетации.

Скорость течения Индигирки высокая на всем протяжении исследованного участка реки. Поэтому, несмотря на то что видов, характерных для проточных водоемов в фитопланктоне реки лишь 2,7%, это широко распространенные в Индигирке виды, играющие в планктоне реки большую роль: *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Gomphonema angustatum* (Kütz.) Rabenh. var. *productum* Grun., *Meridion circulare* Ag.

Воды р. Индигирка маломинерализованные, что обуславливает преобладание в фитопланктоне олигогалобов (65,5%). Активная реакция вод Индигирки слабощелочная, поэтому значительна доля индифферентов (24,9%), алкалифилов и алкалибионтов (21,3%); ацидофилов (7,6%) – меньше, ацидобионты отсутствуют.

По географической принадлежности основу фитопланктона Индигирки составляют космополиты (61,1%). Наибольший интерес, в связи с особенностями природных условий реки, представляют альпийские и арктоальпийские организмы, их доля в планктоне Индигирки составляет 6,7%. К ним относятся распространенные в планктоне реки водоросли: *Aulacosira italica* (Kütz.) Simon. var. *subarctica* (O. Müll.) Dav., *Hannaea arcus*, *Achnanthes nodosa* A. Cl., *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, *Spondylosium planum* (Wolle) W. et G. S. West и др.

Альпийские и арктоальпийские виды, приуроченные к северным и горным областям, играют значительную роль в фитопланктоне исследованной реки, что согласуется с ее географическим положением.

Доля представителей голарктического географического царства – 6,8%, среди них широко распространенные в Индигирке планктонные виды:

Oscillatoria subtilissima Kütz., *Pandorina charkoviensis* Korsch., *Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz, *Coenococcus planctonicus* Korsch.

Бореальных и циркумбореальных видов меньше – 6,0%, среди них лишь один широко распространенный в реке вид – *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. var. *intermedia* Grun.

Географическое положение Индигирки объясняет присутствие в планктоне стенотермных холодолюбивых диатомей: *Aulacosira distans* (Ehr.) Simon., *A. italica*, *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *D. hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) Grun., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., *Eunotia praerupta* Ehr., *Gomphonema ventricosum* Greg.

Среди выявленных в планктоне реки водорослей 211 видов и разновидностей являются водорослями-показателями сапробности, что составляет 70,1% от общего числа таксонов. По отношению к концентрации органических веществ в водной толще состав водорослей-индикаторов р. Индигирка на 18,0% образован β-мезосапробными формами, 48,3% – виды, развивающиеся в переходной зоне между β-мезо- и олигосапробной. Водорослей, характеризующих воды с высокими показателями сапробности, – 11,4%, с низкими – 22,3%. Индекс сапробности варьирует по пунктам наблюдений на р. Индигирка от 0,61 до 1,79 и в среднем составляет 1,42 (что соответствует олиго-β-мезосапробной зоне самоочищения).

В соответствии с морфометрией Индигирки мы условно разделили исследованную часть реки на три участка: верхний, средний и нижний.

Верхний участок – от устья р. Нера до устья р. Мома, длиной 328 км. Здесь река имеет типично горный характер, а на отрезке длиной 113 км, между устьями рр. Таскан и Тихон-Юрях – это бурный порожистый горный поток. Долина реки сжата скалистыми горами, Индигирка на этом участке пробивает две горные гряды хр. Черского: Чемалгинскую и Порожноцепинскую (см. рисунок). Скорость течения местами достигает 5,5 м/с. Берега и дно сложены галькой, в устьях притоков нередко многолетние наледи. Средняя для участка температура воды во время отбора проб – 16,5°C.

В составе фитопланктона на этом участке выявлено 90 видов (102 внутривидовых таксона) из семи отделов. По количеству видов преобладают диатомовые (56,7% общего количества видов), им уступают зеленые (23,3%). Золотистых и синезеленых меньше – соответственно 7,8 и 5,6%. Беден состав желтозеленых (3,3%) и динофитовых (2,2%), из эвгленовых встречен один вид.

Количественные показатели развития фитопланктона в верховьях реки – 41,0 тыс. кл/л и 0,0419 мг/л. Отметим, что это средние показатели для верхнего участка. Относительно высокий уровень вегетации фитопланктона обусловлен одним пиком в пробах, отобранных в районе устья

р. Иньяли, где численность и биомасса составляли соответственно 155,5 тыс. кл/л и 0,1517 мг/л. По остальным пунктам отбора проб количественные показатели не превышали 89,1 тыс. кл/л и 0,0877 мг/л. Как по численности, так и по биомассе основу фитопланктона составляют диатомовые водоросли (99,9% численности, 99,6% биомассы).

В планктоне доминируют четыре вида диатомей: *Hannaea arcus*, *Achnanthes nodosa*, *Gomphonema angustatum* var. *productum*, *Tabellaria fenestrata* var. *intermedia*. Первые три вида С. С. Баринова с соавторами (2006) признают типично бентосными формами, а последний – смешанного планктонно-бентосного типа. Однако в условиях горной реки эти водоросли попадают из обрастаний в планктон и активно в нем развиваются. В планктон Индигирки эти виды попадают и из притоков. Например, в устье Иньяли в планктонных пробах были обнаружены веерообразные колонии *Hannaea arcus* с численностью 130,1 тыс. кл/л (83,7% общей численности фитопланктона в пробе). Река Иньяли, левый приток Индигирки, имеет характер бурного потока с небольшими глубинами, каменистым ложем и температурой воды во время отбора проб 9,4°C. В таких небольших реках создаются благоприятные условия для развития реофильной прикрепленной диатомовой флоры, откуда она попадает в планктон Индигирки и продолжает там вегетировать. Отметим, что в пробах из самой Индигирки *Hannaea arcus* колониями не отмечена, а встречалась только в виде одиночных клеток.

Гидрологические и географические особенности верхней Индигирки закономерно отражаются на экологической характеристике доминирующих в фитопланктоне видов. Среди них два представителя арктоальпийской флоры (*Hannaea arcus* и *Achnanthes nodosa*) и два типичных реофила (*Hannaea arcus* и *Gomphonema angustatum* var. *productum*). Отметим также, что при микроскопировании материала из верховьев Индигирки зафиксирована частая встречаемость среди диатомовых из родов *Synedra* и *Hannaea*, форм с искривленным панцирем. Вероятно, гидродинамические нагрузки на клетки планктона в условиях горной реки вызывают отклонения от нормы при росте и развитии водорослей.

Индекс видового разнообразия Нб варьирует по точкам отбора проб от 2,04 до 3,72. Индекс сапробности – 1,24, что соответствует α - β -мезосапробной зоне самоочищения, и по системе В. Сладечека (1967) вода классифицируется как слабозагрязненная.

Средний участок Индигирки длиной 334 км – от устья р. Мома до устья р. Селенных. Скорость течения падает по сравнению с предыдущим участком, но остается по-прежнему высокой – 2,2–

2,6 м/с. Долина расширяется, река образует множество островов и проток. Индигирка на этом участке огибают еще одну горную гряду – Момский хребет (см. рисунок). Берега и дно галечные. Средняя температура воды, по данным собственных наблюдений, 14,4°C.

В планктоне среднего участка Индигирки выявлен 121 вид водорослей (141 внутривидовой таксон) из 6 отделов. По видовому обилию по-прежнему преобладают диатомовые (48,8% общего числа видов). По сравнению с предыдущим участком возрастает вклад во флору планктона представителей других отделов водорослей, главным образом зеленых (30,6%) и синезеленых (8,3%). Разнообразно представлены золотистые (5,8%), желтозеленых и динофитовых (по 3,3%) – меньше.

Уровень вегетации фитопланктона в среднем течении реки несколько ниже, чем в верховьях, – 34,5 тыс. кл/л, 0,0345 мг/л. По количественному развитию в планктоне среднего участка реки по-прежнему доминируют диатомеи, их доля в общей численности фитопланктона составляет 92,2%, в биомассе – 98,5%. Несколько увеличивается роль зеленых (7,0% численности, 1,0% биомассы фитопланктона) и золотистых (0,8% численности, 0,3% биомассы) водорослей. Доля представителей других отделов водорослей в общей биомассе фитопланктона незначительна.

Набор структурообразующих видов фитопланктона несколько меняется по сравнению с верховьем реки, но это по-прежнему представители диатомей: *Hannaea arcus*, *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Achnanthes nodosa*, *Diatoma elongatum* var. *tenue* (Ag.) V. N., *Gomphonema angustatum* var. *productum*. Индигирка в среднем течении в значительной степени сохраняет горный характер. Доминанты на этом участке реки, как и выше по течению, это бентосные и планктонно-бентосные формы, среди них два арктоальпийских вида и два реофила. Индекс биоразнообразия в среднем течении реки меняется по пунктам отбора проб от 2,75 до 4,36. Индекс сапробности – 1,35, что соответствует α - β -мезосапробной зоне самоочищения; по системе В. Сладечека вода классифицируется как слабозагрязненная.

Нижний участок – от устья р. Селенных до устья р. Аллаиха, длиной 584 км. Здесь скорость течения падает до 1,2 м/с. Река течет преимущественно единым руслом. Берега и дно топкие, илстые. По берегам часты обнажения и осыпи многолетнемерзлых грунтов. Эта часть бассейна Индигирки изобилует озерами, река здесь протекает по Абыйской и Яно-Индигирской низменностям (см. рисунок), со сплошным распространением водно-болотных угодий. На этом отрезке реки северотаежная растительная зона сменяется типичной тундрой. Температура воды в среднем для участка – 14,5°C.

Видовое обилие фитопланктона в нижнем течении реки намного больше, чем вышележащих участков, – 185 видов (206 внутривидовых таксонов) из 7 отделов. Видовое богатство фитопланктона увеличивается благодаря представителям отдела зеленых водорослей, которые составляют 46,5% видового состава. Количество видов диатомовых остается таким же, как и выше по течению, а их доля во флоре планктона снижается до 31,9% от общего числа видов. Возрастает роль золотистых и эвгленовых, чья доля в планктоне Индигирки увеличивается соответственно до 6,5 и 5,4%. Разнообразно представлены синезеленые водоросли (5,4%), динофитовых (2,7%) и желтозеленых (1,6%) меньше.

Численность фитопланктона в низовьях Индигирки больше, чем на вышерасположенных участках реки, – 49,5 тыс. кл/л. Уровень биомассы ниже, чем на участках верхнего и среднего течения, – 0,0268 мг/л. Низкий показатель биомассы при большой численности клеток планктона объясняется тем, что в низовьях реки лучше развиваются мелкоклеточные истинно планктонные формы водорослей. Основу фитопланктона по количественным показателям развития составляют диатомовые водоросли (61,8% численности, 64,6% биомассы фитопланктона), однако их доля в планктоне снижается по сравнению с долей вышележащих участков реки. Роль золотистых водорослей в формировании численности и биомассы фитопланктона в низовьях реки возрастает до 22,7% общей численности и 28,7% общей биомассы водорослей. Доля зеленых также повышается и составляет 15,5% численности и 5,7% биомассы фитопланктона. Роль представителей других отделов незначительна.

Отметим, что в планктоне устьев притоков нижней Индигирки роль водорослей отделов золотистых и зеленых выше, чем в самой реке. Например, в устье р. Бадяриха как по количеству видов, так и по численности и биомассе фитопланктона доминировали не диатомеи, как в самой Индигирке, а зеленые водоросли (66,7% видового состава, 61,8% численности, 64,6% биомассы водорослей). В устье р. Бол. Эрча по видовому обилию преобладали зеленые водоросли (47,1% видового состава), а по количественному развитию – золотистые (67,6% численности, 88,3% биомассы фитопланктона). Согласно концепции речного континуума (Vannote et al., 1980), речную экосистему следует рассматривать как единое целое в том смысле, что нижележащие по течению участки реки испытывают воздействие как вышележащих участков, так и приточной системы. Очевидно, многие виды золотистых и зеленых заносятся в планктон реки из притоков. Например, в пробе из устья р. Бадяриха обнаружен 81 вид водорослей, из них 31 вид выше по течению Ин-

дигирки ни в одной из проб не зафиксирован, причем из этого количества 25 видов – представители отдела зеленых. Однако не все занесенные из притоков виды находят в Индигирке благоприятные условия для вегетации, часть этих водорослей выпадает из планктона реки. Так, из 31 занесенного из р. Бадяриха вида в пробе, взятой из Индигирки в 120 км ниже устья этого притока, встречено лишь 7 видов, в 190 км – 5 видов, а в 380 км ниже – лишь 3 вида. Притоки нижней Индигирки отличаются от самой реки по гидрологическим условиям. Индигирка на этом участке сохраняет скорость течения до 1,2 м/с. Притоки нижней Индигирки берут начало на невысоких плато и протекают по заболоченной низменности, скорость течения исследованных нами притоков не превышает 0,6 м/с.

Набор доминантов полностью меняется в сравнении с доминантами вышележащих участков Индигирки, в их числе наряду с диатомеями появляются представители зеленых и золотистых: *Asterionella formosa* Hass., *Monoraphidium komarkovae* Nyg., *Dinobryon suecicum* Lemm., *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., *S. tabulata* (Ag.) Kütz. В низовьях Индигирка приобретает равнинный характер, скорость течения снижается, и среди доминантов появляются два типично планктонных вида: *Asterionella formosa* и *Dinobryon suecicum*, бентосный вид один – *Synedra tabulata* и два вида смешанного планктонно-бентосного типа местобитаний: *Monoraphidium komarkovae*, *Synedra ulna*. Географическое положение исследуемого участка Индигирки обуславливает наличие среди доминантов арктоальпийского вида – *Dinobryon suecicum*.

Индекс биоразнообразия в низовьях Индигирки варьирует от 3,67 до 4,39. Индекс сапробности – 1,60, что соответствует α - β -мезосапробной зоне самоочищения; по системе В. Сладечека вода классифицируется как слабозагрязненная.

Гидрохимия

По компонентному составу воды Индигирки пресные, мягкие, маломинерализованные, сульфатно-гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, II типа. На всем протяжении реки преобладающими компонентами солевого состава являются сульфаты (24–35 %-экв.), гидрокарбонаты (18–26 %-экв.) и ионы кальция (29–30 %-экв.) (табл. 2). Насыщение вод солями ограничено в условиях многолетней мерзлоты и отсутствия грунтового питания реки.

Воды Индигирки не имеют запаха и вкуса, реакция среды слабощелочная, газовый режим в пределах нормы (см. табл. 2). По общезначимым показателям (взвешенные вещества, цветность и прозрачность) воды верхнего и среднего участков идентичны и характеризуются как чис-

Таблица 2. Содержание химических компонентов в водах р. Индигирка (средние значения)
Table 2. The average chemical element compositions in the Indighirka R. water

Компонентный состав	ПДК _{вр}	Участок		
		верхний	средний	нижний
Показатели солевого состава				
Минерализация, мг/л	1000	57,61	97,02	81,27
Общая жесткость, мг-экв./л	7	0,66	1,03	0,89
Кальций, мг/л	180	9,62	15,57	13,38
Магний, мг/л	40	2,22	3,08	2,69
Натрий, мг/л	120	3,29	6,67	4,69
Калий, мг/л	50	0,43	0,50	0,31
Гидрокарбонаты, мг/л	Не лимит.	14,73	34,68	35,20
Хлориды, мг/л	300	0,35	0,35	0,35
Сульфаты, мг/л	100	26,97	36,18	24,64
Физические показатели				
Запах, балл	2	0	0	0
Вкус, балл	2	0	0	0
Взвешенные вещества, мг/л	–	7,77	11,93	39,38
Прозрачность, м	0,30	0,50–0,70	0,50–0,70	0,10–0,15
Цветность, град.	20	15	18	29
Водородный показатель, ед.	6,5–8,5	7,57	7,76	7,48
Химические показатели				
Углекислый газ, мг/л	–	2,92	2,42	4,04
Растворенный кислород, мг/л	Более 6,0 мг/л	9,73	10,09	9,72
Насыщенность кислородом, % нас.	100%	100,00	99,24	96,37
Азот аммонийный (N-NH ₄), мг/л	0,39	0,40	0,50	0,96
Азот нитритный (N-NO ₂), мг/л	0,02	0,00	0,01	0,02
Азот нитратный (N-NO ₃), мг/л	9,1	0,10	0,16	0,26
Фосфор минеральный (P-PO ₄), мг/л	0,2	0,01	0,01	0,03
Фосфор общий (P _{общ.}), мг/л	0,2	0,02	0,02	0,06
Кремний (Si-SiO ₂), мг/л	10	1,89	1,92	2,02
ТООВ (по величине ХПК), мг/л	15	12,59	14,97	33,73
ЛООВ (по величине БПК ₅), мг/л	Менее 2,0	0,48	0,51	0,96
Показатели токсического загрязнения воды				
Железо общее (Fe _{общ.}), мг/л	0,1	0,24	0,29	0,98
Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,01	0,02	0,02
Фенолы, мг/л	0,001	0,000	0,000	0,000
Анионоактивные детергенты (АПАВ), мг/л	0,1	0,10	0,10	0,10

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр}.
Note. MAC values for water consumption and fishery are in bold type.

тые. В низовьях реки отмечено повышение этих показателей, что снижает класс качества вод и характеризует нижний участок Индигирки как загрязненный.

Воды Индигирки бедны биогенными и органическими элементами. На всем протяжении исследованного участка реки отмечена низкая концентрация нитритного и нитратного азота, кремния, фосфорных соединений и легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) (см. табл. 2). Отметим, что по концентрации анионоактивных детергентов, железа общего и азота аммонийного превышение ПДК выявлено на всем протяжении исследованного участка реки. В водах среднего и нижнего участков Индигирки отмечено превышение ПДК по трудноокисляемым органическим веществам (по величине ХПК) в 1–2 раза (см. табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Уровень видового разнообразия водорослей планктона Индигирки повышается от верхнего участка к нижнему. Большое влияние на фитопланктон Индигирки оказывает заносная флора. В видовом отношении фитопланктон обогащается за счет приточной системы, этот факт отмечен и для других рек Якутии (Комаренко, 1968; Ремигайло, Габышев, 1999; Габышев, Ремигайло, 2009; Габышев, Габышева, 2009; Габышев, 2008). Полученные сведения о водорослях планктона реки в целом свидетельствуют об их относительном видовом разнообразии.

Таксономическая структура сообществ планктонных водорослей Индигирки неоднородна на различных участках реки. В верховьях по числу видов преобладают диатомеи, в среднем течении

увеличивается доля представителей других отделов, главным образом зеленых водорослей. В нижнем течении зеленые выходят на первое место по видовому обилию.

Как по численности, так и по биомассе основу фитопланктона на всем протяжении реки составляют диатомовые водоросли. В среднем и особенно в нижнем течении Индигирки возрастает роль золотистых и зеленых.

Преобладание диатомей, как в качественном, так и в количественном составе планктона Индигирки, вероятно, обусловлено малой степенью прозрачности вод реки. Диатомовые, как наиболее экологически пластичная группа водорослей, лучше приспособляются к неблагоприятным условиям обитания (Вассер и др., 1989). Например, в фитопланктоне р. Яна, где была также зафиксирована низкая прозрачность (0,10–0,15 м), по качественным (69,2% видового состава) и количественным (61,0% общей численности) показателям преобладали диатомовые водоросли (Комаренко, 1968).

Наибольший уровень численности фитопланктона отмечен в нижнем течении Индигирки. Это закономерно связано с тем, что фитопланктон реки обогащается за счет приточной системы. Показатели биомассы снижаются по направлению от верховьев к низовьям реки, что обусловлено снижением скорости течения Индигирки к низовьям, и в планктоне возрастает роль мелкоклоточных истинно планктонных видов, так как главным ингибирующим фактором развития планктонных форм является течение (Грезе, 1957).

Основные факторы, сдерживающие развитие планктонных водорослей Индигирки, – это высокая скорость течения и низкое содержание в водах реки минеральных и биогенных веществ. Это обуславливает невысокие показатели численности и биомассы водорослей, которые варьируют по различным пунктам отбора проб в пределах 0,2–155,5 тыс. кл/л и 0,0010–0,1517 мг/л.

Согласно рассчитанным нами коэффициентам общности видового состава фитопланктона для разных участков реки, наибольшую степень сходства имеют верхний и средний участки (0,65), что объясняется сходными условиями обитания водорослей. Высокая степень сходства между видовым составом фитопланктона среднего и нижнего участков реки (0,58) связана с их смежным расположением. Низкий коэффициент флористического сходства фитопланктона пары участков верхний – нижний (0,45) обусловлен различием гидрологических условий.

Состав доминантов на верхнем и среднем участках реки достаточно однороден, в их состав входят бентосные и планктонно-бентосные диатомовые, включая по два арктоальпийских и реофильных вида. В нижнем течении состав доминантов меняется, в их числе нет реофильных видов, бен-

тосные виды замещаются типично планктонными, кроме диатомовых появляются представители зеленых и золотистых, включая один арктоальпийский вид.

Индекс биоразнообразия (Hb) фитопланктона р. Индигирка повышается от верховьев к устью.

По классификации В. Сладечека (1967) воды Индигирки относятся к слабозагрязненным. На основе классификации О. П. Оксийук и др. (1993), по уровню биомассы фитопланктона воды реки на всем ее протяжении имеют разряд «предельно чистые», по индексу сапробности – «достаточно чистые», по комплексу физико-химических показателей на верхнем и среднем участках реки – 1–3-го класса качества («удовлетворительно чистые»), воды нижнего участка – 2–4-го класса качества («загрязненные»).

Превышение ПДК по цветности и прозрачности воды, по содержанию взвешенных веществ, анионоактивных детергентов, железа общего, азота аммонийного и ТООВ (по величине ХПК) обусловлено природными процессами. Большая часть бассейна Индигирки сложена легкоразмываемыми песчано-глинистыми верхнепалеозойскими и мезозойскими отложениями, легко поддающимися эрозии (Бабич и др., 2001). В нижнем течении реки процессы эрозии и размывания почв усугубляются выходами мерзлотных линз и интенсивным оттаиванием многолетнемерзлых пород в летний период.

ВЫВОДЫ

Результаты анализа пространственной структуры таксономического состава и количественного развития фитопланктона Индигирки свидетельствуют о значительной степени его неоднородности на различных участках реки. Это согласуется с положениями концепции речного континуума (Vannote et al., 1980) и обусловлено закономерной сменой по направлению от истока к устью реки гидрологических, физико-химических факторов, действующих на речной фитопланктон, а также влиянием приточной системы.

Формирование химико-физических свойств воды р. Индигирка находится преимущественно под влиянием природных процессов, таких как особенности состава почв бассейна реки, многолетняя мерзлота, дополнительный сток с прибрежных территорий вследствие интенсивных процессов оттаивания и размывания грунтов.

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

ЛИТЕРАТУРА

Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 269 с.

- Бабич Д. Б., Коротаев В. Н., Магрицкий Д. В., Михайлов В. Н. Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы. – М.: ГЕОС, 2001. – 202 с.
- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. – 498 с.
- Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли: справочник. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Габышев В. А. Водоросли планктона водоемов бассейна р. Молодо (Россия, Якутия) // Гидробиол. журн. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 12–18.
- Габышев В. А. Устройство для концентрирования фитопланктона под давлением // Альгология. – 2009. – Т. 19, № 3. – С. 318–320.
- Габышев В. А., Габышева О. И. Водоросли планктона реки Анабар // Вестник Томского гос. ун-та. – 2009. – № 324. – С. 354–359.
- Габышев В. А., Ремизайло П. А. Таксономический состав фитопланктона реки Алдан (Якутия) // Ботан. журн. – 2009. – Т. 94, № 12. – С. 1771–1777.
- Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. – Л.: Наука, 1985. – 165 с.
- Грезе В. Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование // Изв. Всесоюз. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. – 1957. – Т. 41. – 236 с.
- Комаренко Л. Е. К изучению флоры водорослей реки Индигирки. – Изв. Вост. филиалов АН СССР, 1957. – № 4–5. – С. 203–219.
- Комаренко Л. Е. Планктон бассейна реки Яны. – М.: Наука, 1968. – 151 с.
- Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992. – 181 с.
- Науменко Ю. В. Структура фитопланктона Средней Оби // Ботан. журн. – 1985. – Т. 70, № 10. – С. 1381–1385.
- Оксиюк 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.
- Перечень ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М.: Роскомрыболовство, 1995. – 141 с.
- Ремизайло П. А., Габышев В. А. Особенности развития фитопланктона средней Лены (Россия) // Альгология. – 1999. – Т. 9, № 2. – С. 122–123.
- Семенов А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 540 с.
- Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология: материалы I съезда ВГБО. – М.: Наука, 1967. – С. 26–31.
- Чайковская Т. С. Фитопланктон реки Енисей и Красноярского водохранилища // Биологические исследования Красноярского водохранилища. – Новосибирск: Наука, СО, 1975. – С. 43–91.
- Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии. – М.: Наука, 1964. – 255 с.
- Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1984. – 288 с.
- Yannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept // Can. J. of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1980. – Vol. 37, No. 1. – P. 130–137.

Поступила в редакцию 14.05.2010 г.

THE DEVELOPMENT TRENDS OF PHYTOPLANKTON AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE INDIGHIRKA R. WATER

V. A. Gabyshev, O. I. Gabysheva

The detailed data about phytoplankton life stages and physicochemical composition of the water are for the first time obtained for the Indighirka that is the major Arctic river. New ample data are available now about the taxonomy of plankton algae of this northern river. The basic trends in the spatial structure of the phytoplankton taxonomy and its quantities are established. An integrated assessment of the Indighirka R. water quality is made in terms of its plankton algae bioindicative characters and hydrochemical properties. The data obtained about the Indighirka R. phytoplankton structure and the river water physicochemical parameters are background by their character and can serve as a basis for the researchers to conduct biomonitoring of the river ecosystem.

Key words: the Indighirka R., phytoplankton, water physicochemical parameters, background data, water quality.