



УДК (574.583+556.114)(282.256.82)

## Особенности развития фитопланктона и физико-химические свойства вод реки Яны в летний период

В. А. Габышев, О. И. Габышева

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск*

*E-mail: v.a.gabyshev@ibpc.usn.ru*

**Аннотация.** Впервые для Яны – крупной арктической реки, получены подробные сведения о физико-химических параметрах воды и развитии фитопланктона. Об оригинальности полученных данных свидетельствуют зарегистрированные нами 181 вид и разновидность водорослей, новые для флоры реки Яны и 17 – для флоры водоёмов Якутии в целом. Выявлены основные факторы, лимитирующие развитие планктонных водорослей р. Яны. Проведена комплексная оценка качества вод реки по биоиндикационным свойствам водорослей планктона и физико-химическим параметрам. Полученные данные являются фоновыми и послужат основой биомониторинга речной экосистемы.

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

### *Введение*

Яна – крупная река арктического бассейна Восточной Сибири, её длина составляет 872 км, площадь бассейна – 238 тыс. км<sup>2</sup>. Яна образуется при слиянии рек Дулгалаха и Сартанга. При впадении в море Лаптевых река формирует дельту, площадь которой составляет 10,2 тыс. км<sup>2</sup> [22]. В бассейне Яны разведаны богатые месторождения полезных ископаемых, разработка некоторых из них начата ещё в 70-е гг. прошлого века. В связи с развитием добывающей промышленности в регионе неизбежно начало работ на новых участках, что вызовет риск ухудшения экологической обстановки.

Единственные сведения о водорослях р. Яны приводятся в публикации Л. Е. Комаренко [10], основанной на сборах фитопланктона, осуществленных ихтиологическим отрядом Якутского филиала СО АН СССР в 1960 г. Пробы отбирались на участке Яны от слияния рек Сартанг и Дулгалах (начало собственно р. Яны) до устья. В работе обсуждаются особенности флористического и экологического состава планктонных водорослей, автором выявлено 211 таксонов водорослей рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида, из 7 отделов, среди которых диатомеи составляли 69,2 % от общего числа таксонов, зеленые – 17,2 %, сине-зелёные водоросли – 11,0 %. На долю золотистых, эвгленовых и красных приходилось 2,6 %. Было показано, что фито-

планктон р. Яны формируется за счёт придаточной системы, главным образом, пойменных озёр и эфемерных водоёмов. Установлено, что развитие планктона реки было обусловлено в основном экологически пластичными видами водорослей, и видами, приуроченными к холодным и быстротекущим водам. Данные о гидрохимии р. Яны имеются лишь в разрозненном виде, публикации, посвящённые изучению физико-химических параметров вод реки отсутствуют.

Необходимость получить более полные современные данные, которые в дальнейшем станут основой биомониторинга, обусловила цель настоящей работы: изучить физико-химические показатели вод р. Яны, особенности таксономического, эколого-географического состава и количественного развития населяющего их фитопланктона, а также оценить качество вод реки по физико-химическим параметрам и некоторым биоиндикационным показателям водорослей.

### *Материалы и методы*

Исследование основано на материалах сборов, выполненных в июле 2009 г. на участке р. Яны протяжённостью 764 км от пос. Верхоянск до протоки Главное Русло в дельте (рис. 1). В соответствии с морфометрией русла мы условно разделили исследованный отрезок реки на четыре участка: верхний, средний, нижний и дельтовый.



Рис. 1. Карта-схема района работ

Верхний участок – от пос. Верхоянск до устья р. Адычи, длиной 230 км (см. рис. 1). Река на верхнем участке протекает по Верхоянской впадине, её русло здесь сильно меандрирует, острова редки. Берега и дно образованы песком и илистыми отложениями. Скорость течения 0,8–1,0 м/с, перед впадением Адычи скорость возрастает на перекатах до 2 м/с. Прозрачность воды по диску Секки – 0,04–0,12 м. Средняя для участка температура воды во время отбора проб – 16,5 °С.

Средний участок р. Яны длиной 231 км – от устья р. Адычи до устья р. Джанкы (см. рис. 1). Скорость течения здесь возрастает до 1,2–1,4 м/с. После впадения р. Адычи меандры заканчиваются, в русле р. Яны появляется большое количество островов и отмелей, берега и дно чаще сложены галькой. Река здесь выходит на Янское плоскогорье и огибает отроги хребта Черского. Прозрачность воды на этом участке увеличивается до 0,7 м. Средняя температура воды по данным собственных наблюдений составила 14,8 °С.

Нижний участок – от устья р. Джанкы до с. Казачьего, длиной 240 км (см. рис. 1). В нижнем течении р. Яна во многом сохраняет характерные особенности предыдущего участка. Река протекает по Янскому плоскогорью, а в нижней части описываемого участка прорывает сочленение цепей хребтов Кулар и Полоусный. Отличием от предыдущего участка является значительное сокращение островов и отмелей. Берега и дно по-прежнему сложены преимущественно галькой. В нижней части данного участка горы заканчиваются, река вступает в область рыхлых отложений четвертичного периода, представляющих собой тонкий песчано-илистый материал, включающий линзы ископаемого льда [22]. Река здесь протекает по Яно-Индибирской низменности, где находится граница леса и начинается зона тундры. Прозрачность воды сохраняется примерно на том же уровне, что и на предыдущем участке реки – 0,6–0,7 м, а скорость течения снижается – 1,0–1,2 м/с. Температура воды в среднем для участка – 14,7 °С.

Дельтовый участок длиной 63 км от с. Казачьего до протоки Главное Русло (см. рис. 1) целиком расположен в пределах Яно-Индибирской низменности, в тундровой почвенно-растительной зоне. Берега и дно илистые, с частыми обнажениями многолетне-мёрзлых грунтов. Скорость течения значительно снижается (0,4–0,8 м/с). Прозрачность воды

увеличивается до 0,9 м. Температура воды в среднем составляет 14,5 °С.

Всего собрано и обработано 26 проб воды для гидрохимического анализа и 60 планктонных альгологических проб. Отбор образцов произведён в прибрежной зоне, либо по фарватеру из поверхностного горизонта воды (0–0,3 м).

Химический анализ проб воды выполнен по общепринятым методикам [1; 18]. Содержание компонентов, характеризующих газовый режим ( $O_2$ , БПК<sub>5</sub>,  $CO_2$ ), и некоторые физические показатели (прозрачность, запах, вкус, взвешенные вещества) определялись на месте отбора проб, остальные химические анализы выполнены в лабораторных условиях, для чего проведены более 1500 определений. Для выявления содержания компонентов солевого состава применены следующие методы: сульфат-анион – турбидиметрический; катионы калия и натрия – пламенной спектрофотометрии; прочих компонентов – методом титрования. Содержание биогенных элементов определяли с применением спектрофотометра СФ-26: азота аммонийного – фотометрическим методом с реактивом Несслера; азота нитритного – фотометрическим методом с реактивом Грисса; азота нитратного – фотометрическим методом с салицилатом натрия; фосфатов и фосфора общего – фотометрическим методом со смешанным реактивом, в состав которого входит молибдат аммония и аскорбиновая кислота; ионов кремния – фотометрическим методом с молибдатом аммония; железа общего – фотометрическим методом с роданистым аммонием. Содержание органических веществ (ХПК, фенолы, АПАВ, нефтепродукты) определяли с применением анализатора «Флюорат-02» люминесцентным методом.

Для проведения комплексной оценки качества воды использованы классификации В. Сладечека [19], О. П. Оксюк и др. [11], а также применены нормативы ПДК рыбохозяйственного назначения [15].

Отбор проб фитопланктона произведён с применением планктонной сети Апштейна (фильтрующая ткань SEFAR NITEX, размером ячеек 30 мкм). Образцы для изучения качественного состава фитопланктона отобраны обловом планктонной сетью. Пробы для оценки количественного развития планктонных водорослей получены путем отбора 50 л речной воды с последующим концентрированием ее через сеть. Микроскопирование препаратов выполнено с применением микроскопа Olympus

ВН-2. Количественный учёт водорослей проведён согласно методам, опубликованным С. П. Вассер и др. [3]. Подсчёт численности клеток водорослей осуществлён на счётной камере Нажотта объемом 0,01 см<sup>3</sup>. Для определения биомассы водорослей применён счётно-объёмный метод. Объём тела водорослей определён стереометрическим методом и рассчитан по данным собственных измерений клеток. Анализ таксономической структуры фитопланктона проведён методами, принятыми в сравнительной флористике [23]. Для оценки флористического сходства использовали коэффициент Серенсена, для оценки видовой разнообразия водорослей – индекс Шеннона-Уивера, рассчитанный по показаниям биомассы [12]. При изучении фитопланктона учитывались все виды водорослей, встречающиеся в толще воды, согласно определению термина «фитопланктон» по Н. Н. Воронихину [4]. Сведения об экологических характеристиках водорослей заимствованы из работы С. С. Бариновой и др. [2].

При таксономическом анализе фитопланктона р. Яны учтены данные, полученные Л. Е. Комаренко [10].

**Результаты**

*Характеристика физико-химических показателей вод р. Яны*

Согласно компонентному составу главных ионов, воды р. Яны отнесены к водам сульфатного класса, кальциевой группы, II типа, пресным, маломинерализованным, очень мягким. На всём протяжении реки соотношение компонентов солевого состава не меняется: сульфаты составляют (34,1 %-экв.), гидрокарбонаты – 15,0 %-экв., ионы кальция – 21,3 %-экв., магния – 17,8 %-экв., натрия – 10,3 %-экв., калия – 0,6 %-экв., хлориды – 0,9 %-экв. (табл. 1). Низкие показатели минерализации и жесткости (см. табл. 1) обусловлены влиянием вечномерзлых грунтов, ограничивающих дренаж почвы и вымывание минеральных солей. По комплексу данных веществ река характеризуется как «предельно чистая» I класса качества.

Таблица 1  
Гидрохимические и физические показатели вод р. Яны на различных русловых участках (пределы колебаний)

Показатели	Русловые участки			
	Верхний	Средний	Нижний	Дельтовый
Показатели солевого состава				
Минерализация, мг/л	94,04–121,9	83,64–112,20	34,33–99,55	45,96–104,26
Общая жёсткость, мг-экв/л	0,9–1,16	0,90–1,20	0,38–1,12	0,62–1,26
Кальций, мг/л	10,02–12,63	11,22–16,43	4,41–13,63	4,41–13,23
Магний, мг/л	4,01–8,02	4,13–6,08	1,94–5,83	4,86–7,29
Натрий, мг/л	8,00–16,00	6,00–8,00	2,50–6,50	1,50–6,00
Калий, мг/л	1,00–2,00	0,50–1,00	0,30–0,50	0,10–0,50
Гидрокарбонаты, мг/л	25,02–28,07	26,85–30,51	6,10–28,07	10,98–26,85
Хлориды, мг/л	0,71–1,42	0,35–1,06	0,35–1,06	0,71–1,42
Сульфаты, мг/л	41,31–59,56	33,62–50,91	18,73–45,15	23,05–49,47
Физические показатели				
Запах, баллы	1	0	0	0
Вкус, баллы	1	0	0	0
Взвешенные вещества, мг/л	<b>102,00–442,40</b>	15,00–18,60	12,40–16,80	14,00–18,40
Прозрачность, м	<b>0,04–0,12</b>	0,7	0,7	0,9
Цветность, град.	3–27	3–11	13–25	5–17
Водородный показатель	6,88–7,36	7,14–7,64	6,86–7,14	6,69–7,13

Показатели	Русловые участки			
	Верхний	Средний	Нижний	Дельтовый
Показатели газового режима				
Углекислый газ, мг/л	2,64–4,84	2,20–3,08	2,64–3,08	2,64
Кислород, мг/л	9,07–9,90	9,49–10,62	10,13–10,65	10,28–10,60
Насыщенность кислородом, %	96–102	96–106	100–109	101–107
Химические показатели				
Азот аммонийный, мг/л	<b>0,69–1,40</b>	0,12–0,30	0,13–0,20	0,13–0,19
Азот нитритный, мг/л	<b>0,014–0,034</b>	0,001–0,009	0,001–0,005	0,001–0,004
Азот нитратный, мг/л	0,05–0,18	0,07–0,13	0,06–0,10	0,06–0,12
Фосфор минеральный, мг/л	<b>0,05–0,16</b>	0,01–0,04	0,01–0,03	0,01–0,02
Фосфор общий, мг/л	<b>0,12–0,20</b>	0,05–0,17	0,02–0,05	0,02–0,05
ТООВ (по величине ХПК), мг/л	10,00–14,00	10,00–12,00	11,00–12,00	10,00–12,50
ЛООВ (по величине БПК <sub>5</sub> ), мг/л	0,44–1,40	0,42–0,68	0,82–0,89	0,71–1,13
Показатели токсического загрязнения				
Железо общее, мг/л	<b>1,50–2,50</b>	<b>0,03–1,66</b>	<b>0,30–0,84</b>	<b>0,17–0,67</b>
Нефтепродукты, мг/л	0,018–0,038	0,015–0,031	0,014–0,018	0,014–0,026
Фенолы, мг/л	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
АПАВ, мг/л	0,01–0,03	0,01–0,02	0,01	0,01–0,02

Примечания: жирным шрифтом выделены значения, превышающие предельно-допустимые концентрации; в таблице приняты следующие сокращения: ТООВ – трудноокисляемые органические вещества, ЛООВ – легкоокисляемые органические вещества, АПАВ – анионоактивные поверхностные вещества

Вода р. Яны имеет нейтральную реакцию, газовый режим и цветность в пределах нормы (см. табл. 1). По органолептическим и физическим свойствам вода неоднородна на различных участках. В верховье она характеризуется землистым привкусом, низкой степенью прозрачности и высокой концентрацией взвешенных веществ (см. табл. 1). Ниже по течению концентрация взвешенных веществ понижается, улучшаются вкусовые качества и светопропускающая способность. Низкая прозрачность воды обусловлена большим расходом взвесей в верховьях [21]. Основная часть взвешенных частиц поступает в р. Яну в результате интенсивного разрушения суглинистых и супесчаных берегов и сноса взвеси с вышерасположенных горных участков реки. По наличию данных компонентов воды верхнего участка реки относятся ко 2–5-му классам и характеризуются как «вполне чистые – предельно загрязнённые». Остальные участки реки – «очень чистые – достаточно чистые» 2–3 классов.

Действием природных факторов объясняется высокая концентрация на верхнем участке реки азота аммонийного, фосфатов, фосфора общего и азота нитритного (см. табл. 1). По содержанию данных компонентов воды верховий р. Яны являются «умеренно загрязненными – сильно загрязненными» и относятся к 3–4-му классам качества. На других участках содержание этих компонентов значительно ниже, и воды реки характеризуются как «вполне чистые – достаточно чистые» 2–3-го классов качества. Остальные компоненты комплекса биогенных и органических веществ (азот нитратный, ТООВ и ЛООВ) имеют низкую концентрацию на всём протяжении реки (см. табл. 1) и соответствуют 2–3-му классам качества «очень чистых – достаточно чистых» вод.

По комплексу показателей токсического загрязнения воды р. Яны характеризуются как «достаточно чистые» и относятся к 3-му классу качества. Высокое содержание железа общего вызвано интенсивными процессами оттаивания

и размывания грунтов в летне-осенний период и имеет природный характер.

**Фитопланктон**

В результате собственных наблюдений, а также с учётом ранее опубликованных данных [10], в составе планктона р. Яны выявлены 330 видов водорослей (385 таксонов рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида) из 8 отделов, 12 классов, 22 порядков, 56 семейств, 101 рода (табл. 2).

Основу списка таксонов на 80,6 % составляют диатомовые и зелёные водоросли. Из них на долю диатомовых приходится 51,2 % от общего числа видов. Значительно меньшим богатством отличаются сине-зелёные (9,7 %), золотистые (3,0 %), желто-зелёные (3,0 %), эвгленовые (2,1 %) и динофитовые (1,2 %) водоросли. Красные водоросли представлены одним видом. Показатель соотношения числа сине-зелёных и зелёных водорослей в составе фитопланктона р. Яны высок и составляет 1:3,0, что нехарактерно для гумидных полярных областей. Например, для р. Анабар это отношение составляет 1:1,7 [6].

На уровне классов выделяются Pennatophyceae (49,7 % видового состава), Conjugatophyceae (17,3 %) и Chlorophyceae (12,1 %); на уровне порядков – Raphales (40,6 %), Desmidiiales (16,1 %) и Agaphales (9,1 %). Наиболее крупные по числу видов 11 семейств включают 222 вида водорослей (67,1 % от общего числа видов), которые принадлежат к отделам диатомовых, зелёных и сине-зелёных:

Naviculaceae (13,6 % видового состава), Desmidiaceae (10,6 %), Fragilariaceae (7,3 %), Cymbellaceae (7,0 %), Closteriaceae (5,5 %), Nitzschiaceae (4,8 %), Oscillatoriaceae (4,2 %), Eunotiaceae (3,9 %), Gomphonemataceae (3,6 %), Surirellaceae и Scenedesmaceae (по 3,3 %). Одно- и двувидовых семейств в спектре водорослей планктона р. Яны – 33, т. е. 58,9 % от их общего количества.

Анализ родового спектра водорослей планктона р. Яны указывает на неравномерность распределения видов по родам. Ведущие по видовому обилию 10 родов составляют 9,9 % всего родового состава и охватывают 44,7 % общего числа видов. Это представители отделов диатомовых, зелёных и сине-зелёных: *Cymbella* (6,7 % видового состава), *Closterium* (5,5 %), *Navicula* (5,2 %), *Synedra*, *Pinnularia* и *Nitzschia* (по 4,5 %), *Eunotia* (3,9 %), *Cosmarium* (3,6 %), *Gomphonema* (3,3 %), *Oscillatoria* (3,0 %). Основная часть, 71,3 % всех родов, являются одно- и двувидовыми, причём на их долю приходится около трети видового состава. Пропорции флоры составляют 1:1,8:5,9:6,9; родовая насыщенность – 3,3; варибельность вида – 1,2.

Из общего числа обнаруженных таксонов рангом ниже рода, 181 вид и разновидность водорослей зарегистрированы нами впервые для флоры р. Яны, а 17 – для флоры Якутии в целом (табл. 2).

Таблица 2

Абсолютное соотношение различных таксонов водорослей в составе планктона р. Яны

Отдел	Число								
	классов	порядков	семейств	родов	видов	видов и разновидностей	новых видов и разновидностей для флоры реки Яны	новых видов и разновидностей для флоры Якутии	% от общего числа видов (330)
Суанопхита	2	3	9	13	32	35	12	–	9,7
Динофита	1	1	1	2	4	4	4	–	1,2
Хантофита	1	2	4	5	10	12	8	–	3,0
Хантофита	2	2	4	4	10	10	6	–	3,0
Вацеллариопхита	2	4	17	33	169	210	68	4	51,2
Еугленопхита	1	1	1	3	7	8	8	1	2,1
Хлорофита	2	8	19	40	97	105	75	12	29,4
Родопхита	1	1	1	1	1	1	–	–	0,3
Всего	12	22	56	101	330	385	181	17	100,0

На всём протяжении (исключая дельту) р. Яны характеризуется высокой скоростью течения – 0,8–2,0 м/с. Поэтому, несмотря на то что доля реофильных видов в фитопланктоне реки составляет лишь 1,8 %, это широко распространённые виды, играющие в планктоне реки большую роль: *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr. и *Gomphonema angustatum* (Kütz.) Rabenh. var. *productum* Grun. Встречены два вида диатомовых водорослей, предпочитающие хорошо аэрированные воды: *Pinnularia borealis* Ehr. и *Nitzschia terrestris* (Petersen) Hust.

Воды р. Яны маломинерализованные, что обуславливает преобладание в фитопланктоне олигогалобов (68,3 %). Активная реакция вод р. Яны нейтральная, поэтому значительна доля индифферентов (24,9 %), алкалофилов (19,0 %), ацидофилов (8,6 %) и алкалобионтов (3,1 %) – меньше, ацидобионты отсутствуют.

По географической принадлежности основу фитопланктона р. Яны составляют космополиты (55,6 %). Наибольший интерес, в связи с особенностями природных условий реки, представляют альпийские и арктоальпийские организмы, их доля в планктоне составляет 6,0 %. Среди них два вида отмечены во всех отобранных в р. Яне пробах: *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt и *H. arcus*.

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

Доля представителей голарктического географического царства – 7,5 %, среди них широко распространённые в р. Яне планктонные виды: *Oscillatoria subtilissima* Kütz. и *Pandorina charkoviensis* Korsch.

Бореальных и циркумбореальных видов меньше – 11,2 %, среди них лишь два широко распространённых в реке вида – *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. var. *intermedia* Grun. и *Aulacosira distans* (Ehr.) Simon.

Географическое положение р. Яны объясняет присутствие в планктоне стенотермных холодолюбивых диатомей: *Aulacoseira distans*, *A. italica* (Kütz.) Simon., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *D. hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) Grun., *Stauroneis smithii* Grun. var. *karelica* Wisl. et Kolbe, *Pinnularia brevicostata* Cl., *Eunotia praerupta* Ehr. и *Gomphonema ventricosum* Greg.

246 видов и разновидностей водорослей из всех выявленных в планктоне реки являются индикаторами сапробности, что составляет

63,9 % от общего числа таксонов. По отношению к концентрации органических веществ в водной толще состав водорослей-индикаторов реки на 16,3 % образован β-мезосапробными формами, на 20,3 % – олигосапробными, 29,2 % – виды, развивающиеся в переходной между β-мезо- и олигосапробной зоне. Водорослей, характеризующих воды с высокими показателями сапробности – 11,4 %, с низкими – 22,8 %. Индекс сапробности варьирует по пунктам наблюдений в пределах от 0,92 до 1,81, в среднем составляя 1,56 (что соответствует олиго-β-мезосапробной зоне самоочищения).

**Верхний участок.** В составе фитопланктона на этом участке выявлены 107 видов (123 таксона рангом ниже рода) из семи отделов. По числу видов преобладают диатомовые (57,0 % общего числа видов), им уступают зелёные (22,4 %) (рис. 2). Золотистых (6,5 %), сине-зелёных и эвгленовых (по 4,7 %) меньше. Беден состав жёлто-зелёных (2,8 %) и динофитовых (1,9 %).

В фитопланктоне р. Яны преобладают бентосные формы и эпибионты (44,2 % видового состава). Водоросли, обитающие как в планктоне, так и в бентосе, составляют 22,3 %, а истинные планктеры – всего 16,9 %.

Количественные показатели развития фитопланктона в верховьях реки невысоки – 3,8 тыс. кл./л и 0,016 мг/л. По численности клеток основу фитопланктона составляют диатомовые водоросли (88,2 % от общей численности фитопланктона), доля зелёных (4,6 %) и золотистых (4,3 %) невелика (рис. 3). В формировании биомассы водорослей планктона наряду с диатомовыми (66,6 % общей биомассы) значительное участие принимают зелёные водоросли (21,8 %) (рис. 4). В составе планктона доминируют три вида диатомей – планктонный *Asterionella formosa* Hass., планктонно-бентосный *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr. и случайно планктонный *Hannaea arcus*. Наличие среди доминантов представителя арктоальпийской флоры (*H. arcus*) обусловлено географическим положением Яны.

Индекс видового разнообразия варьирует по точкам отбора проб от 3,33 до 4,51. Индекс сапробности составляет 1,55, что соответствует о-β-мезосапробной зоне самоочищения, а по системе Сладечека вода классифицируется как слабозагрязнённая.

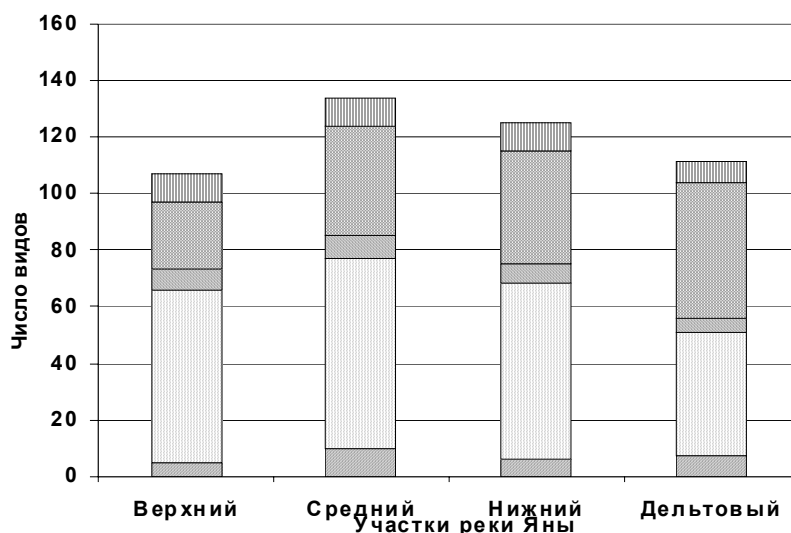


Рис. 2. Доля основных отделов водорослей в формировании таксономической структуры фитопланктона на различных участках русла р. Яны.

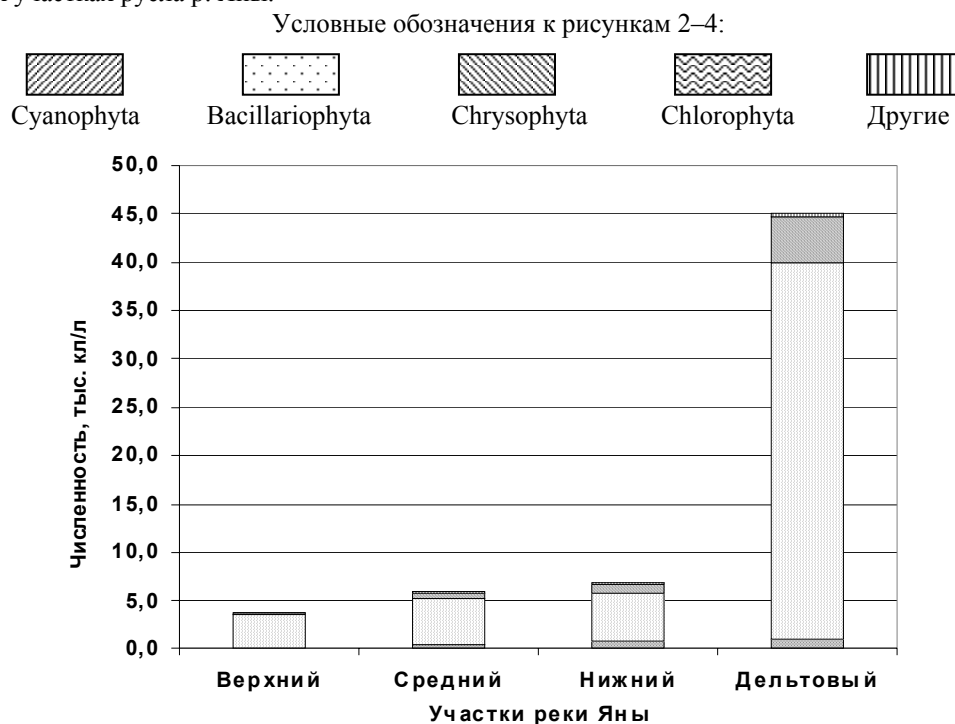


Рис. 3. Численность фитопланктона и её распределение по отделам водорослей на различных участках русла р. Яны (Условные обозначения см. рис. 2)

**Средний участок.** В планктоне среднего участка р. Яны выявлены 134 вида водорослей (149 таксонов рангом ниже рода) из 7 отделов. По видовому обилию по-прежнему преобладают диатомовые, но их доля в видовом спектре планктона несколько снижается в сравнении с верховьями реки (50,0 % общего числа видов). По сравнению с предыдущим участком возрастает вклад во флору планктона представителей других отделов водорослей, главным образом зелёных (29,1 %) (см. рис. 2). Разнообразно

представлены сине-зелёные (7,5 %) и золотистые (6,0 %); эвгленовых (3,0 %), жёлто-зелёных и динофитовых (по 2,2 %) – меньше.

Уровень вегетации фитопланктона в среднем течении реки несколько выше, чем в верховье – 6,0 тыс. кл./л, 0,022 мг/л (см. рис. 3, 4). По количественному развитию в планктоне среднего участка реки по-прежнему доминируют диатомеи, их доля в общей численности фитопланктона составляет 81,2 %, в биомассе – 51,2 %.



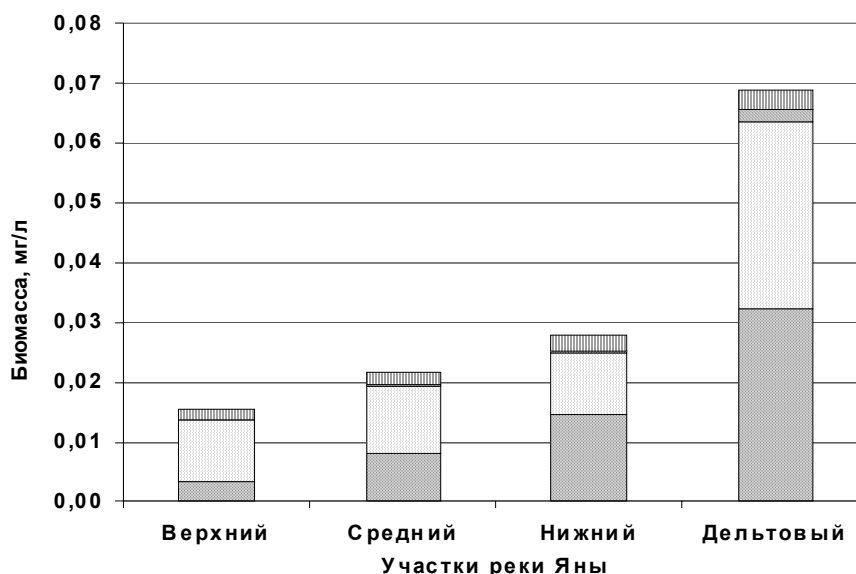


Рис. 4. Биомасса фитопланктона и её распределение по отделам водорослей на различных участках русла р. Яны (Условные обозначения см. рис. 2)

Несколько возрастает роль зелёных (7,1 % численности, 38,0 % биомассы фитопланктона) и золотистых (9,2 % численности, 1,1 % биомассы) водорослей.

Набор структурообразующих видов фитопланктона по сравнению с верховьями реки меняется незначительно, это по-прежнему представители диатомей *S. ulna*, *A. formosa*, *Nitzschia acicularis* W. Sm. Доминируют на этом участке русла планктонные и планктонно-бентосные формы, космополиты.

Индекс биоразнообразия в среднем течении реки меняется по пунктам отбора проб от 3,00 до 4,44. Индекс сапробности составил 1,62, что соответствует о-β-мезосапробной зоне самоочищения, по системе Сладечека вода классифицируется как слабозагрязнённая.

**Нижний участок.** Видовое богатство фитопланктона в нижнем течении реки сохраняется примерно на том же уровне, что и на вышележащих участках – 125 видов (134 таксона рангом ниже рода) из 7 отделов (см. рис. 2). Диатомовые водоросли по видовому богатству продолжают доминировать (49,6 % общего числа видов), однако их доля в фитопланктоне нижнего течения уменьшается в сравнении с верхним и средним участками реки. Возрастает роль зелёных водорослей, чья доля в видовом составе фитопланктона увеличивается до 32,0 %. Разнообразно представлены золотистые (5,6 %) и сине-зелёные (4,8 %) водоросли; эвгленовых (3,2 %), динофитовых и жёлто-зелёных (по 2,4 %) меньше.

Количественные показатели развития фитопланктона нижнего течения р. Яны несколько возрастают в сравнении с вышерасположенными участками реки (6,8 тыс. кл./л, 0,028 мг/л) (см. рис. 3; 4). Основу численности составляют диатомовые (73,4 %), но их вклад снижается по сравнению с верхним и средним участками реки. Возрастает значение зелёных и золотистых водорослей, их доля в общей численности фитопланктона составляет соответственно – 12,9 % и 11,1 %. Значение зелёных водорослей в формировании биомассы фитопланктона нижнего течения по сравнению с вышележащими участками также возрастает (52,1 % от общей биомассы), а диатомовых – уменьшается (37,6 %) (см. рис. 4). Зелёные водоросли в низовьях реки, таким образом, выходят на первое место по показателю биомассы.

В числе доминантов находятся виды, входившие в руководящий комплекс в верховьях реки и в её среднем течении: диатомей *S. ulna*, *A. formosa*, *H. arcus*.

Индекс биоразнообразия в низовьях р. Яны варьирует от 3,06 до 4,40. Индекс сапробности составил 1,52, что соответствует о-β-мезосапробной зоне самоочищения, по системе Сладечека вода классифицируется как слабозагрязнённая.

**Дельтовый участок.** Видовое богатство водорослей, отмеченных в планктоне исследованного участка дельты р. Яны, остается примерно на том же уровне, что и на расположенных выше участках реки – 111 видов (123 так-

сона рангом ниже рода) из 7 отделов (см. рис. 2). В дельте р. Яны по видовому обилию на первое место выходят зелёные водоросли (43,2 % общего числа видов). На втором месте диатомовые (39,6 %), разнообразно представлены сине-зелёные (6,3 %); золотистых и динофитовых меньше – соответственно 4,5 % и 3,6 %; беден состав жёлто-зелёных (1,8 %) и эвгленовых (0,9 %).

Количественные показатели развития фитопланктона в дельте р. Яны резко возрастают, и составляют в среднем для участка 45,0 тыс. кл./л и 0,069 мг/л (см. рис. 3; 4). Основу численности планктонных водорослей составляют диатомовые, их роль в планктоне дельтового участка возрастает до 86,7 % от общей численности фитопланктона. Причём от 81,1 % до 87,7 % численности диатомей формирует один массово развивающийся вид – *A. formosa*. Значителен вклад в численность фитопланктона водорослей из отдела золотистых (10,8 %). Биомассу фитопланктона дельты формируют главным образом представители двух отделов – зелёных (46,8 % от общей биомассы) и диатомовых (45,4 %) (см. рис. 4).

В числе доминантов фитопланктона дельты Яны, кроме отмеченных на вышерасположенных участках реки диатомей *A. formosa* и *S. ulna* появляется представитель золотистых водорослей *Dinobryon sociale* Ehrh.

Индекс биоразнообразия в дельте реки меняется по пунктам отбора проб от 2,72 до 3,46. Индекс сапробности составил 1,52, что соответствует  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробной зоне самоочищения, по системе Сладечека вода классифицируется как слабозагрязнённая.

Согласно рассчитанным нами коэффициентам общности видового состава фитопланктона для разных участков реки высокую степень сходства имеют пары участков средний – нижний (0,69), верхний – средний (0,66) и нижний-дельтовый (0,65), наименьшую степень сходства обнаруживают участки верхний-дельтовый (0,54).

### Обсуждение

Превышение ПДК по прозрачности воды и содержанию взвешенных веществ является характерной природной особенностью вод р. Яны. Большая часть бассейна реки сложена легкоразмываемыми песчано-глинистыми верхнепалеозойскими и мезозойскими отложениями, легко поддающимися эрозии [21]. Этот процесс усиливается за счёт вытаивания вечномерзлых грунтов. Повышенная концентра-

ция азота аммонийного, азота нитритного, фосфатов, фосфора общего и железа общего характерна для северных водоемов и обусловлена природными процессами. По имеющимся данным, в водах других рек арктического бассейна отмечен аналогичный набор химических компонентов, превышающих ПДК [14; 7; 24].

Сведения, полученные о фитопланктоне реки, свидетельствуют о его значительном видовом разнообразии. Уровень этого разнообразия от участка к участку меняется незначительно (см. рис. 2). Отмеченная для фитопланктона р. Яны высокая позиция в спектре семейств Desmidiaceae, а также преобладание маловидовых семейств и родов отражает характерные голарктические черты флор северного полушария [8].

Таксономическая структура сообществ планктонных водорослей р. Яны неоднородна на различных участках реки. В верхнем, среднем и нижнем течении в фитопланктоне по числу видов преобладают диатомеи. В среднем и особенно нижнем течении увеличивается доля представителей других отделов, главным образом, зелёных. В дельте сохраняется тенденция к уменьшению роли диатомей, а зелёные водоросли выходят на первое место по видовому обилию (см. рис. 2).

Гидрологические особенности р. Яны обуславливают заметное влияние на фитопланктон реки заносной флоры. Так, среди обнаруженных в планктоне видов водорослей, для которых известна их экологическая приуроченность к типу местообитания, к планктонным и планктонно-бентосным формам относятся 46,9 %, а к бентосным, эпибионтам и обитателям почв – 53,1 %. Быстрое течение, наличие перекатов с небольшими глубинами и турбулентность потока воды способствуют попаданию в планктон реки водорослей из обрастаний, часть из которых находит благоприятные условия для вегетации. Следует отметить, что для крупных рек, по данным ряда авторов [13; 20], напротив, типично преобладание планктонных организмов.

По численности основу фитопланктона на всём протяжении реки составляют диатомовые водоросли (рис. 3). Роль зелёных и золотистых растёт от верховья реки к устью, а диатомовых – снижается. В дельте доля диатомей вновь возрастает за счёт одного вида – *A. formosa*. По биомассе диатомовые преобладают в планктоне на верхнем и среднем участках, однако к устью реки их доля снижается (рис. 4). В планктоне нижнего и дельтового участков на первое место по уровню биомассы выходят зелёные водоросли.

Диатомовые водоросли преобладают как в качественном, так и в количественном составе планктона на участках реки, где нами отмечена наименьшая прозрачность воды. На участках, расположенных ближе к устью, по мере возрастания прозрачности воды, роль зелёных и золотистых в фитопланктоне растёт, а диатомовых – снижается. Диатомовые, как наиболее экологически пластичная группа водорослей, лучше приспосабливаются к неблагоприятным условиям обитания [3]. По данным Л. Е. Комаренко [10], вода р. Яны также имела низкую прозрачность (в верхнем течении 0,10–0,15 м; в среднем течении 0,25–0,48 м; в нижнем течении 0,40 м; в дельте – 0,22–0,25 м), и в качественном составе фитопланктона преобладали диатомовые водоросли (69,2 % видового состава).

В составе планктона других арктических рек, воды которых характеризуются высокой прозрачностью, диатомовые водоросли играют меньшую роль, чем в планктоне р. Яны. В реках Анабар и Оленёк, прозрачность воды которых достигает на некоторых участках 2,5 м,

роль диатомей в фитопланктоне по большинству показателей ниже, чем в р. Яне (табл. 3) [6; 7; 24].

Уровень количественного развития фитопланктона р. Яны повышается от верховья к низовью (см. рис. 3, 4), это закономерно связано с тем, что фитопланктон реки обогащается за счёт приточной системы. Подобное явление отмечено и для других рек Якутии [5; 6; 7; 24], Сибири [13; 17] и Европы [16].

Резкое повышение численности и биомассы фитопланктона р. Яны в дельте, обусловлено столь же резким снижением на этом участке реки скорости течения, а это главный ингибирующий фактор развития планктона [9].

Факт массового развития в планктоне дельтового участка Яны представителя диатомовой флоры *A. formosa* характерен и для других рек арктического бассейна [6; 7; 24]. В реках Анабар и Оленёк этот вид отмечен только в низовьях, непосредственно в устьевых участках развивался массово и входил в число доминантов.

Таблица 3

Роль диатомовых водорослей в формировании видового богатства, численности и биомассы фитопланктона некоторых рек арктического бассейна

Река	Доля диатомовых водорослей, % в составе фитопланктона		
	по числу видов	по численности	по биомассе
Яна	51,2	83,9	48,7
Анабар [6; 24]	36,7	36,6	69,0
Оленёк [7]	27,5	7,9	33,4

Основные факторы, сдерживающие развитие планктонных водорослей р. Яны – высокая скорость течения, низкое содержание в водах минеральных элементов и биогенных веществ, и низкая прозрачность. Это определяет невысокие показатели численности и биомассы водорослей, которые варьируют по разным пунктам отбора проб в следующих пределах: 1,7–73,7 тыс. кл./л и 0,009–0,084 мг/л.

Состав доминантов достаточно однороден на верхнем, среднем и нижнем участках реки, где в их число входят планктонные, планктонно-бентосные и бентосные диатомовые. В дельте в составе доминантов, кроме диатомовых, появляется представитель золотистых водорослей.

Более высокий коэффициент общности видового состава фитопланктона р. Яны обнаруживают смежные участки реки: средний – нижний и верхний – средний, что объясняется

сходными условиями обитания водорослей. Низкий коэффициент флористического сходства фитопланктона пары участков верхний – дельтовый обусловлен их взаимной удаленностью и различием гидрологических условий.

Индекс биоразнообразия фитопланктона р. Яны несколько понижается от верховий к низовьям.

По классификации Сладечека [19] воды р. Яны относятся к слабозагрязненным. На основе классификации О. П. Оксийук и др. [11] относительно уровня биомассы фитопланктона воды реки на всём протяжении имеют разряд «предельно чистые», по индексу сапробности – «чистые»; по комплексу физико-химических показателей на верхнем участке реки – 1–5 классы качества («загрязненные»), воды среднего, нижнего и дельтового участков – 1–3 классы качества («удовлетворительно чистые»).

### Заключение

Формирование химико-физических свойств воды р. Яны находится преимущественно под влиянием природных процессов, среди которых особенности состава почв бассейна, наличие многолетней мерзлоты, дополнительный сток с прибрежных территорий за счёт интенсивных процессов оттаивания и размывания грунтов.

Результаты анализа пространственной структуры и количественного развития фитопланктона р. Яны свидетельствуют о его неоднородности на различных участках реки. Это согласуется с положениями концепции речного континуума [25], и обусловлено закономерной сменой по направлению от истока к устью реки гидрологических и физико-химических факторов, действующих на речной фитопланктон.

### Литература

1. Алёкин О. А. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / О. А. Алёкин, А. Д. Семёнов, Б. А. Скопинцев. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 269 с.
2. Баринаева С. С. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды / С. С. Баринаева, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. – 498 с.
3. Водоросли: справочник / С. П. Вассер [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1989. – 608 с.
4. Воронихин Н. Н. Несколько слов о содержании понятия «фитопланктон пресных вод» / Н. Н. Воронихин // Бот. журн. – 1950. – Т. 35, №6. – С. 195–198.
5. Габышев В. А. Водоросли планктона водоёмов бассейна р. Молодо (Россия, Якутия) / В. А. Габышев // Гидробиол. журн. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 12–18.
6. Габышев В. А. Водоросли планктона реки Анабар / В. А. Габышев, О. И. Габышева // Вестн. Том. гос-та. – 2009. – № 324. – С. 354–359.
7. Габышев В. А. К изучению фитопланктона и физико-химических параметров вод р. Оленек / В. А. Габышев, О. И. Габышева // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. – 2010. – № 3. – С. 51–55.
8. Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера / М. В. Гецен. – Л. : Наука, 1985. – 165 с.
9. Грезе В. Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование / В. Н. Грезе // Изв. ВНИИ озёр. и реч. рыб. хоз-ва. – 1957. – Т. 41. – С. 10–23.
10. Комаренко Л. Е. Планктон бассейна реки Яны / Л. Е. Комаренко. – М. : Наука, 1968. – 151 с.
11. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксийук [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.
12. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М. : Мир, 1992. – 181 с.
13. Науменко Ю. В. Фитопланктон реки Оби : дис. ... д-ра биол. наук / Ю. В. Науменко. – Новосибирск, 1996. – 274 с.
14. Особенности экологии гидробионтов нижней Лены / Д. Л. Венглинский [и др.] – Якутск : Изд. ЯФ СО АН СССР, 1987. – 184 с.
15. Перечень ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов. – М. : Роскомрыболовство, 1995. – 141 с.
16. Приймаченко А. Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А. Д. Приймаченко. – Киев : Наукова думка. – 1981. – 278 с.
17. Приймаченко А. Д. Современное состояние фитопланктона Енисея и его изменения в результате антропогенного влияния / А. Д. Приймаченко, О. П. Баженова // Водные ресурсы. – 1990. – № 3. – С. 104–113.
18. Семенов А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / А. Д. Семенов. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 540 с.
19. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология : материалы I съезда ВГБО / В. Сладечек. – М. : Наука, 1967. – С. 26–31.
20. Чайковская Т. С. Фитопланктон реки Енисей и Красноярского водохранилища / Т. С. Чайковская. // Биологические исследования Красноярского водохранилища. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1975. – С. 43–91.
21. Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии / Г. Е. Чистяков. – М. : Наука, 1964. – 255 с.
22. Чистяков Г. Е. Гидроэнергетические ресурсы бассейна реки Яны / Г. Е. Чистяков, Д. Д. Ноговицын, М. В. Якушев. – М. : Наука, 1970. – 214 с.
23. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.
24. Gabyshev V. A. Water quality of the Anabar River indicated by phytoplankton structure and hydrochemical characteristics V. A. Gabyshev, O. I. Gabysheva // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – Vol. 3, N 4. – P. 395–400.
25. The river continuum concept / R. L. Vannote [et al.] // Canadian J. of Fish. and Aquatic Sciences. – 1980. – Vol. 37, N 1. – P. 130–137.

## Development trends of phytoplankton and physical-chemical parameters of water in the Yana River in summer

V. A. Gabyshev, O. I. Gabysheva

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk*

**Abstract.** Detailed information on physical-chemical parameters of water and phytoplankton development were first obtained for the Yana, a large Arctic river. Original data obtained comprise 181 species and varieties of algae new for the Yana flora and 17 for the Yakutia water bodies in general. Main factors limiting the development of plankton algae of the Yana were established.

Integrated assessment of the river water quality according to bioindicative characteristics of planktonic algae and hydrochemical parameters was made. The obtained data are background and will use as the basis for the river ecosystem biomonitoring.

**Key words:** the Yana River, phytoplankton, physical and chemical parameters of water, background data, water quality.

*Габышев Виктор Александрович*  
*Институт биологических проблем криолитозоны*  
*СО РАН*  
*677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41*  
*кандидат биологических наук,*  
*старший научный сотрудник*  
*тел. (4112) 33-56-90; факс: (4112) 33-58-12*  
*E-mail: v.a.gabyshev@ibpc.ysn.ru*

*Gabyshev Viktor Aleksandrovitch*  
*Institute for Biological Problems of Cryolithozone*  
*SB RAS*  
*41Lenin Ave., Yakutsk, 677980*  
*Ph.D. of Biology, senior research scientist*  
  
*phone: (4112) 33-56-90, fax: (4112) 33-58-12*  
*E-mail: v.a.gabyshev@ibpc.ysn.ru*

*Габышева Ольга Ивановна*  
*Институт биологических проблем криолитозоны*  
*СО РАН*  
*677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41*  
*кандидат биологических наук,*  
*младший научный сотрудник*  
*тел. (4112) 33-56-90; факс: (4112) 33-58-12*  
*E-mail: oi\_gabysheva@mail.ru*

*Gabysheva Olga Ivanovna*  
*Institute for Biological Problems of Cryolithozone*  
*SB RAS*  
*41Lenin Ave., Yakutsk, 677980*  
*Ph.D. of Biology, junior research scientist*  
  
*phone: (4112) 33-56-90, fax: (4112) 33-58-12*  
*E-mail: oi\_gabysheva@mail.ru*