

УДК 551.313

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В 2018 Г.

А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, А.Т. Зиновьев, В.В. Кириллов, А.В. Дьяченко, Е.Ю. Митрофанова, Т.А. Рождественская, И.В. Горбачев

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

e-mail: puzanov@iwep.ru, <http://iwep.ru>

Аннотация. ИВЭП СО РАН в 2018 г. на Телецком озере получены данные наблюдений вертикальных распределений температуры воды, содержания растворенного кислорода и других характеристик воды с целью уточнения динамики и механизмов формирования температурной и химической неоднородностей в данном водоеме; изучено распределение основных биогенных элементов, макро- и микроэлементов, изотопного состава (по кислороду и дейтерию) в пелагиали, литорали и приустьевой части основных притоков озера; оценено влияние биогеохимических и почвенно-геохимических условий водосборов на качество вод рек бассейна озера; выявлены особенности водных сообществ в литорали и устье основных притоков; оценены уровни развития биоценозов литорали и пелагиали озера; дана оценка качества воды в озере в целом и на отдельных участках.

Ключевые слова: Телецкое озеро, гидрофизика, гидрохимия, биогеохимия, гидробиология, лимнология, экология.

THE INTEGRATED ECOLOGICAL STUDY OF LAKE TELETSKOYE IN 2018

A.V. Puzanov, D.M. Bezmaternykh, A.T. Zinoviev, V.V. Kirillov, A.V. Dyachenko, E.Yu. Mitrofanova, T.A. Rozhdestvenskaya, I.V. Gorbachev

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

e-mail: puzanov@iwep.ru, <http://iwep.ru>

Abstract. In 2018, IWEP SB RAS collected the data on observations of vertical distribution of water temperature, dissolved oxygen content and other water characteristics in order to specify the dynamics and mechanisms of the formation of temperature and chemical heterogeneities in Lake Teletskoye. The distribution of major biogenic elements, macro- and microelements, the isotopic composition (in oxygen and deuterium) of the pelagial, littoral and estuary of major tributaries of the lake were studied. The impact of biogeochemical and soil-geochemical conditions of watersheds on water quality of rivers of the lake basin was assessed; the peculiarities of water communities in the littoral and estuary of major tributaries were identified; the development levels of biocenoses in the lake's littoral and pelagial as well as water quality of the lake as a whole and its sites were evaluated.

Keywords: Lake Teletskoye, hydrophysics, hydrochemistry, biogeochemistry, hydrobiology, limnology, ecology.

Телецкое озеро – пресноводный, слабоминерализованный, богатый кислородом, холодноводный, проточный горный водоем со снеговым, дождевым и подземным питанием [Селегей, Селегей, 1978]. Оно включено в Международную программу изучения истории климата озер. Это уникальный природный объект мирового значения, экосистемы озера и его водосборного бассейна – индикаторы глобальных процессов эвтрофирования и токсификации поверхностных вод Центральной Азии. Институт имеет многолетний опыт (с 1989 г.) в выполнении комплексных исследований экосистем Телецкого озера и его водосборного бассейна [Пузанов и др., 2017]. Основная цель экспедиций – продолжение мониторинга гидрофизических, гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических характеристик Телецкого озера в период открытой воды.

Работа выполнена в рамках проектов государственного задания ИВЭП СО РАН: «Биогеохимические особенности наземных экосистем в бассейнах рек Сибири и их влияние на качество природных вод» (научные руководители: д.б.н. А.В. Пузанов, д.г.н. Ю.И. Винокуров), «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (д.т.н. А.Т. Зиновьев), «Пространственно-временная организация водных экосистем и оценка влияния природных и антропогенных факторов на формирование гидробиоценозов и качество поверхностных вод бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья» (к.б.н. В.В. Кириллов). В экспедициях было задействовано научно-исследовательское судно (НИС) ИВЭП СО РАН № 209 (типа «Ярославец»). В работе принимали участие аспиранты ИВЭП СО РАН, студенты и аспиранты ВУЗов.

В результате были получены данные наблюдений вертикальных распределений температуры воды, содержания растворенного кислорода и других характеристик воды с целью уточнения динамики и механизмов формирования температурной и химической неоднородностей в данном водоеме; изучено распределение биогенных элементов (нитратного и аммонийного азота, фосфора и кремния), макро- и микроэлементов, изотопного состава (по кислороду и дейтерию) в пелагиали, литорали и приустьевой части основных притоков озера; оценено влияние биогеохимических и почвенно-геохимических условий водосборов на качество вод рек бассейна озера; охарактеризованы особенности водных сообществ в литорали и устье основных притоков; оценены уровни развития биоценозов литорали и пелагиали озера; дана оценка качества воды в озере в целом и на отдельных участках.

Материалы и методы. С 7 июня по 15 октября 2018 г. было проведено 5 экспедиций на Телецкое озеро (Фото 1, 2): 7–18 июня, 19–23 июня, 14–19 августа, 17–26 сентября, 10–15 октября. Измерения гидрофизических параметров на водоеме проведены в июне, августе и октябре 2018 г. по всей акватории на 53 станциях (Рис. 1) с использованием глубоководного профилографа SBE 25plus Sealogger CTD с фиксированием метеорологической обстановки на каждой станции на момент проведения работ с использованием портативных метеостанций DAVIS Weather Monitor II. Элементный химический состав природных сред определен методом атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4. 139; 140-98; НСАМ №450С; РД 52.24.479-95.

Биогеохимические исследования выполнены в приустьевых зонах 9 притоков озера и на примыкающих к ним участках водосборного бассейна. Для анализа биогеохимической обстановки бассейнов рек на водосборе Телецкого озера и оценки их влияния на качество поверхностных вод изучено содержание макро- и микроэлементов в воде, донных отложениях и почвах.

Отбор гидробиологических проб выполнен стандартными гидробиологическими методами по сетке станций, включающей основные участки пелагиали и литорали озера, расположенные в устье основных притоков и двух самых крупных заливах. Пробы фитопланктона были отобраны в южной (Кыга-Чулышман), центральной (Яйлю) и северной (Артыбаш) частях акватории озера в октябре 2018 г., профильтрованы на фильтры Millipore. Фильтры были высушены, инсталлированы на «столики» для микроскопирования,

напылены золото-палладиевой смесью и просмотрены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N.

Гидрофизические исследования. Для описания процесса движения термобара разработана с использованием натуральных данных за 2010–2017 гг. компьютерная трехмерная (3D) модель термогидродинамики Телецкого озера. В летний период 2018 г. впервые выполнены наблюдения движения термобара в Телецком озере на всем его протяжении. Получены вертикальные распределения характеристик водной массы в окрестности температурного фронта. Рассчитанный с использованием входных натуральных данных по метеоусловиям 2013 г. для гидрометеостанции Яйлю, процесс распространения термобара в Телецком озере (Рис. 2, 3) согласуется с результатами наблюдений 2018 г. Детальный анализ формирования годовой температурной стратификации позволяет оценить влияние климатических изменений на термический режим крупных озер и водохранилищ Сибири.

Биогеохимические исследования. Показано, что содержание биогенных элементов (Fe, Mn, Cu, Zn) и особенности их динамики в поверхностных водах водотоков, связаны со степенью выветрелости материала дренируемых почв (на водосборах западных притоков озера преобладают почвы с высоким содержанием вторичных глинистых минералов, органического вещества, выветрелого переработанного материала, восточных – примитивные грубодисперсные почвенные образования), свидетельствуют о существенном влиянии почвенного покрова на формирование качества поверхностных вод бассейна озера. Так, почвы западной части бассейна оз. Телецкое обладают большим запасом водорастворимого железа (1564 мкг/дм³), чем слаборазвитые почвы истоков восточных притоков (997 мкг/дм³). Однако, в силу большей сорбционной способности первых, железо прочно фиксируется в почвах. Более высокой степенью выщелачиваемости железа характеризуются почвы восточной части водосбора, сформированные на крутых склонах – низкое содержание сорбирующих веществ в них способствует выносу растворимых форм элементов. Вследствие этого разница в концентрации железа в воде восточных и западных притоков нивелируется (табл. 1).

Таблица 1.

Содержание химических элементов (растворимые формы) в воде притоков

Притоки	Сроки отбора	Химические элементы, мкг/дм ³										
		Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	V	Mo	Hg	As
Чулышман	I	80	23	<0,5	0,9	<0,05	<0,005	0,7	0,9	0,7	<0,05	<0,2
	II	8	<0,1	1,1	0,6	<0,05	<0,005	0,4	0,2	0,6	<0,05	<0,2
Западные притоки												
Самыш	I	<5	<0,1	<0,5	<0,1	<0,05	<0,005	<0,5	0,6	2,5	<0,05	2,3
	II	30	23	<0,5	0,8	<0,05	<0,005	1,3	<0,1	1,1	<0,05	<0,2
Малые Чили	I	15	2,9	<0,5	0,4	<0,05	<0,005	<0,5	0,4	0,7	<0,05	<0,2
	II	5,5	<0,1	<0,5	0,9	<0,05	<0,005	<0,5	0,2	0,7	<0,05	<0,2
Большие Чили	I	9	2,1	<0,5	0,3	<0,05	<0,005	<0,5	0,4	1,0	<0,05	<0,2
	II	18	<0,1	<0,5	0,4	<0,05	<0,005	<0,5	0,2	0,8	<0,05	<0,2
Восточные притоки												
Челюш	I	8	1,1	<0,5	<0,1	<0,05	<0,005	<0,5	0,3	0,5	<0,05	<0,2

	II	15	0,3	<0,5	0,5	<0,05	<0,005	<0,5	<0,1	<0,5	<0,05	<0,2
Кокши	I	10	1,5	<0,5	<0,1	<0,05	<0,005	<0,5	0,3	<0,5	<0,05	<0,2
	II	6,3	<0,1	<0,5	0,8	<0,05	<0,005	0,5	<0,1	<0,5	<0,05	<0,2
Корбу	I	<5	1,1	<0,5	<0,1	<0,05	<0,005	<0,5	0,4	<0,5	<0,05	<0,2
	II	<5	<0,1	<0,5	0,5	<0,05	<0,005	3,2	0,6	4,9	<0,05	<0,2
Верх-Камелик	I	<5	22	<0,5	0,8	<0,05	<0,005	<0,5	2,0	3,8	<0,05	<0,2
	II	9,6	0,2	1,6	0,9	<0,05	<0,005	0,8	0,2	0,7	<0,05	<0,2
Камга	I	10	2,9	<0,5	<0,1	<0,05	<0,005	<0,5	0,4	0,8	<0,05	<0,2
	II	10	0,2	1,6	0,9	<0,05	<0,005	0,7	0,2	0,7	<0,05	<0,2

Примечание. Сроки отбора: I – июнь (период весенне-летнего половодья), II – сентябрь (период осенней межени).

Донные отложения притоков характеризуются концентрациями химических элементов, близкими или более низкими по отношению к средним содержаниям в почвах водосбора озера, что обусловлено песчаным гранулометрическим составом отложений, насыщенные микроэлементами тонкодисперсные частицы практически отсутствуют.

Гидробиологические исследования. Проведено исследование мелкоклеточных центральных диатомовых водорослей в доминантном комплексе осеннего фитопланктона Телецкого озера. Диатомеи вместе с криптофитовыми водорослями преобладают по численности в фитопланктоне озера, взаимозаменяя друг друга в течение гидрологического года. Мелкоклеточные центральные диатомеи доминируют в планктоне большую часть года. Комплекс диатомей состоит из четырех видов, соотношение которых в доминантном комплексе меняется в зависимости от сезона. Это *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanocostis chantaica* Genkal et Kuzmina, *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. et Möller и *Stephanodiscus makarovae* Genkal (Рис. 4). Ранее было выявлено, что в летнем фитопланктоне (Яйлю, пелагиаль, июль 2009 г.) соотношение этих видов было 6,0 : 1 : 3,5 : 2,6 (Рис. 5А), в осеннем (Яйлю, пелагиаль, октябрь 2018 г.) – 46,2 : 2,2 : 0 : 1. При этом в южной оконечности – 205 : 20 : 3 : 1, а в северной – 37,3 : 4,3 : 1,3 : 1, соответственно (Рис. 5Б-Г). Осенью наблюдается большее развитие одного вида (*C. delicatula*) по сравнению с другими, причем наибольшая ее доля отмечена в доминантном комплексе фитопланктона в центральной части озера – в пелагиали Яйлю, южные и северные участки – отличаются несколько меньшей долей *C. delicatula*. Кроме того, в осеннем планктоне пелагиали Яйлю не выявлен *S. makarovae*, что может свидетельствовать о менее благоприятных условиях для развития данного вида в открытой пелагиали озера в период начала осеннего перемешивания водной толщи.

Проведенные гидробиологические исследования позволяют выявить роль мелкоклеточных центральных диатомовых водорослей в доминантном комплексе фитопланктона озера в разные сезоны. Водоросли, и в том числе диатомеи, являются автотрофными организмами, находятся в основании пищевой пирамиды и способствуют поддержанию устойчивости экосистемы в целом.

Результаты экспедиционных работ вошли в отчеты по государственному заданию (3 проекта) ИВЭП СО РАН, а также переданы в «Алтайский государственный биосферный заповедник», Роскосмос, региональные подразделения Росгидромета и Росводресурсов.

В 2019 г. планируется продолжить комплексные экспедиционные исследования экосистемы Телецкого озера и его притоков с использованием научного судна ИВЭП СО РАН № 209.

Исследования выполнены в соответствии с Планом экспедиционных работ на научно-исследовательских судах Федерального агентства научных организаций России на 2018 г. (проект «Комплексные гидроэкологические исследования в бассейне реки Оби», научный руководитель – д.б.н. А.В. Пузанов, ответственный исполнитель – д.б.н. Д.М. Безматерных).

Список литературы

Пузанов, А.В. Современное состояние, экологические проблемы и перспективы изучения Телецкого озера (Республика Алтай) / А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, Ю.И. Винокуров, В.В. Кириллов, А.Т. Зиновьев // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017а. – С. 137-144.

Селегей, В.В. Телецкое озеро. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР / В.В. Селегей, Т.С. Селегей – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – 143 с.



Фото 1. НИС «№209» ИВЭП СО РАН при отборе проб в Кыгинском заливе



Фото 2. Отбор проб воды батометром с борта судна

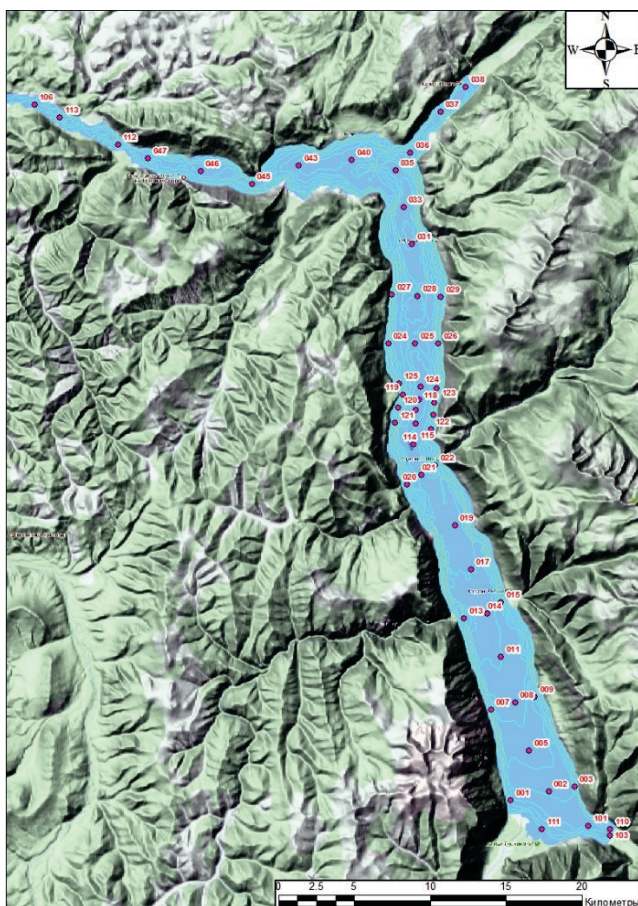


Рис. 1. Станции измерения вертикальных профилей с использованием STD зонда SBE25 Plus на акватории Телецкого озера

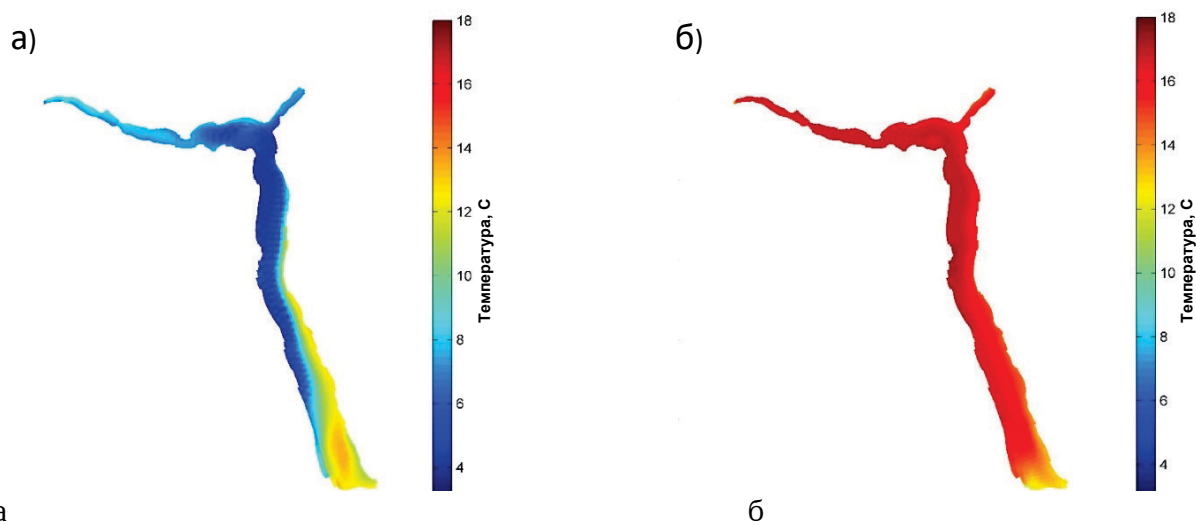


Рис. 2. Расчетные распределения температуры поверхности озера при движении термобара в период летнего нагрева (а – 15 июля, б – 15 августа)

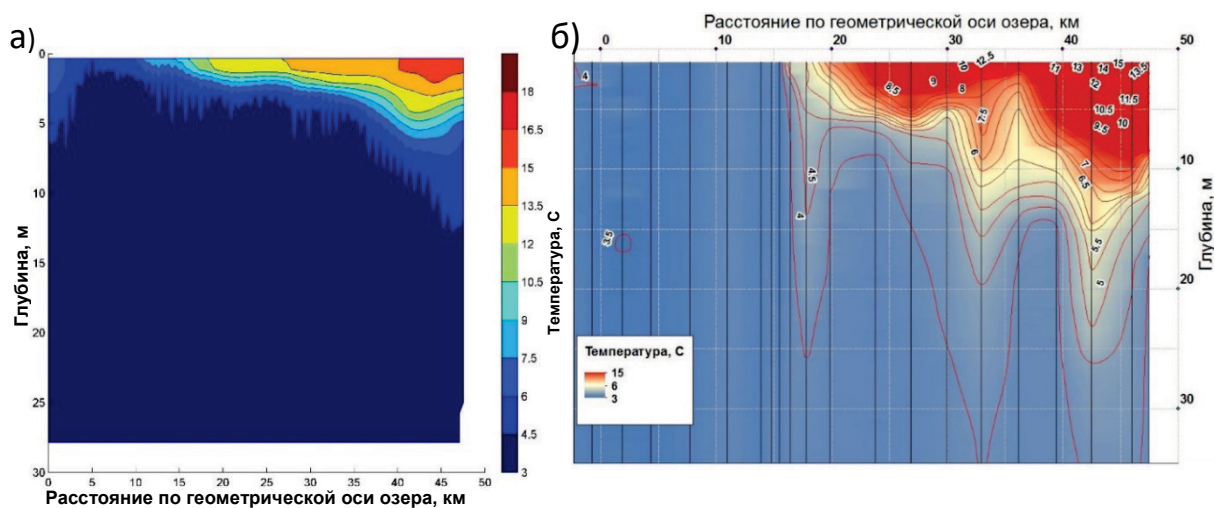


Рис. 3. Изолинии температуры воды по геометрической оси озера (а – расчет, б – наблюдения)

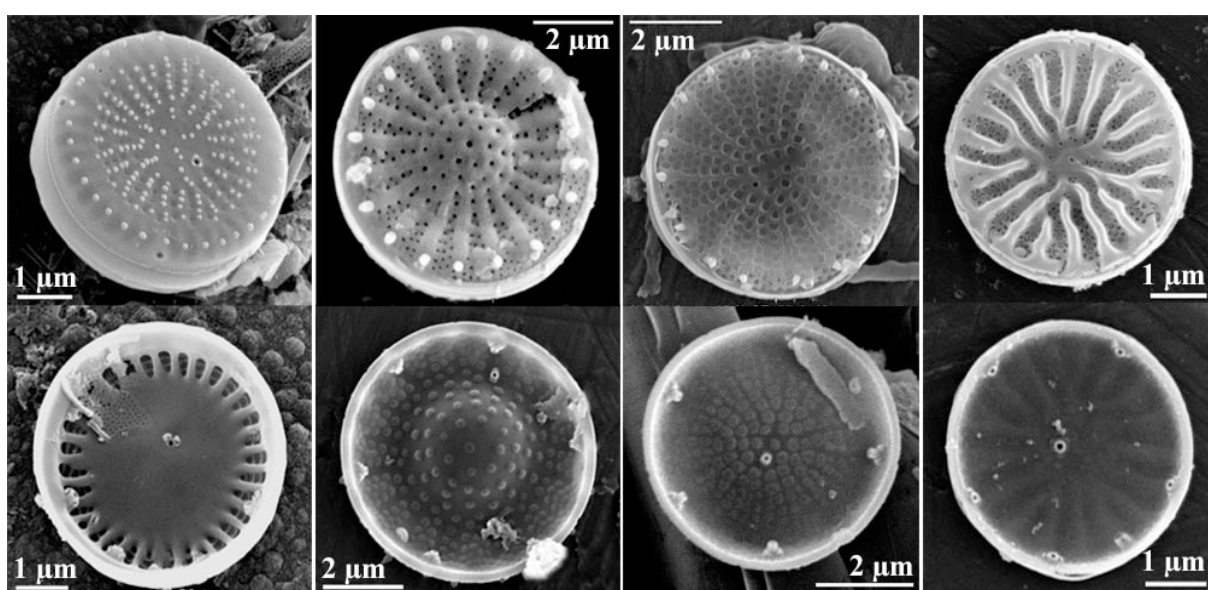


Рис. 4. *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve et Möller, *S. makarovae* Genkal и *Stephanocostis chanthaicus* Genkal et Kuzmina в доминантном комплексе фитопланктона Телецкого озера (слева направо, верхний ряд – внешняя сторона створки, нижний – внутренняя сторона створки)

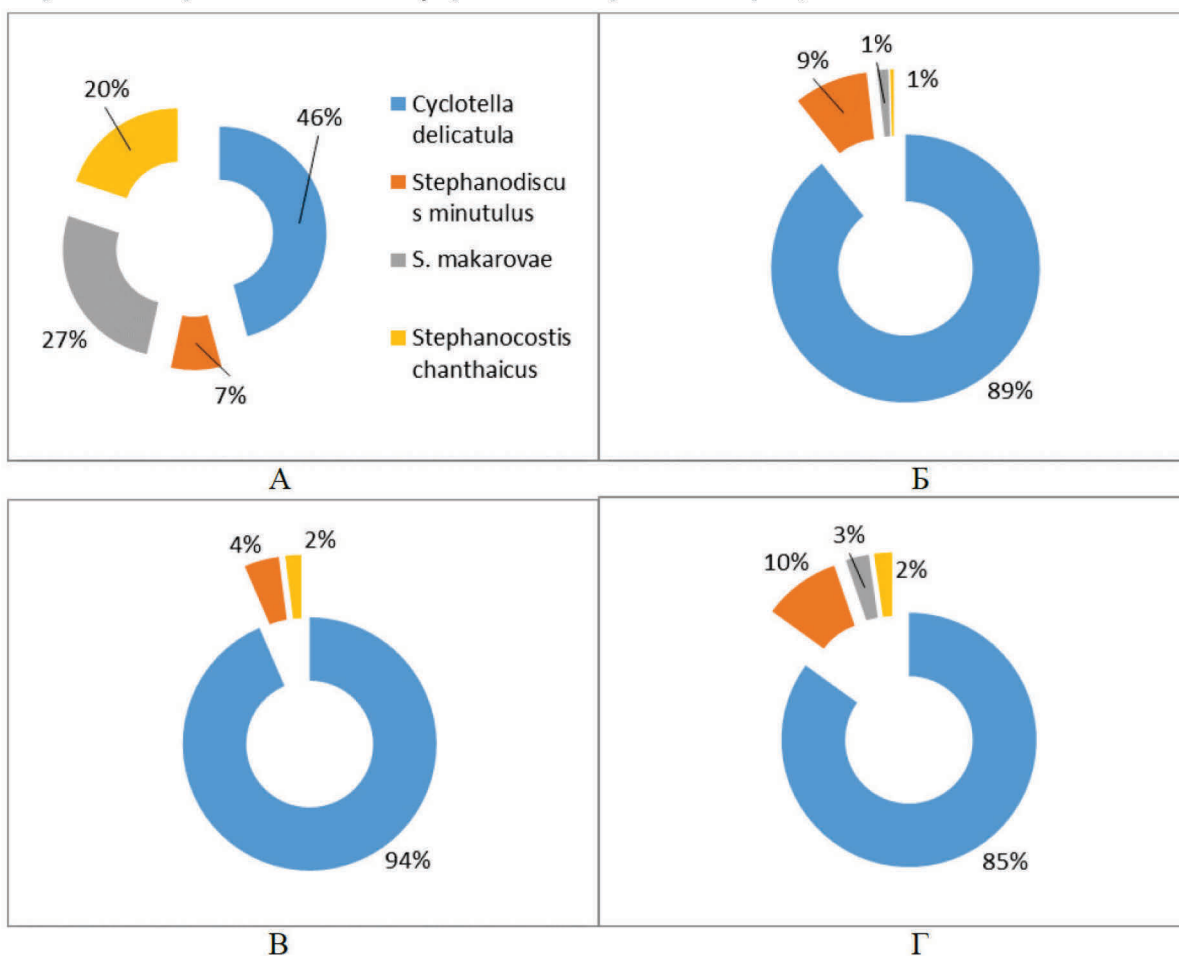


Рис. 5. Доля видов по численности в доминантном комплексе фитопланктона Телецкого озера 27 июля 2009 на ст. Яйлю (А) и 11-13 октября 2018 г. на ст. Чулышман-Кыга (Б), Яйлю (В) и Артыбаш (Г)