



УДК 574.5

Вертикальные изменения численности фитопланктона Южного Байкала в различающиеся по температурным условиям годы

Л. С. Кращук, С. В. Шимараева

Иркутский государственный университет, Иркутск
E-mail: root@bio.isu.runnet.ru

Аннотация. Рассмотрены изменения общей численности фитопланктона в фотическом слое Южного Байкала на постоянной станции в районе пос. Большие Коты в 1988 и 2009 гг., отличающиеся по температурным условиям. В рассматриваемые годы показатели количественного развития фитопланктона значительно различаются. В более тёплом 2009 г. общая численность фитопланктона выше, а его вертикальная динамика отличается более длительным периодом устойчивой стратификации летом. Установлена тесная связь между изменениями численности фитопланктона и температуры воды в летний период.

Ключевые слова: Южный Байкал, фитопланктон, вертикальная динамика, температурные условия.

Введение

Вертикальное распределение планктона играет большую роль в жизни водоёмов. С ним связан круговорот веществ в водоёме, передача энергии и транспорт органических веществ от поверхности на глубины. Изменение плотности планктона по глубинам вызывает изменение прозрачности различных слоёв воды. Характер распределения планктона в водоёме и изменение его в течение года зависят от многих факторов. Среди физических факторов первостепенное значение имеют термический режим и гидродинамические условия в водоёме [2; 7].

В оз. Байкал наряду с изучением сезонной и межгодовой динамики численности и биомассы фитопланктона проводились исследования их вертикальной изменчивости [5; 6 и др.]. Цель настоящей работы – проследить особенности вертикального распределения фитопланктона в пелагиали Южного Байкала в годы с разными температурными условиями.

Материалы и методы

Изменения общей численности фитопланктона в водной толще рассмотрены на основании данных, полученных в 1988 и 2009 гг. во время круглогодичных наблюдений на постоянной станции (станция № 1) в районе пос. Большие Коты в Южном Байкале. Анализировались пробы, отобранные у поверхности воды и с глубин 5, 10, 25 и 50 м, так как именно в этом слое происходит наиболее интенсивное развитие фитопланктона. Пробы фиксировали

раствором Утермея и обрабатывали осадочным методом. Общая численность фитопланктона рассчитана без учёта пикопланктонных водорослей с размерами менее 2 мкм. В качестве показателя неоднородности распределения фитопланктона и температуры в водной толще использован коэффициент вариации CV (%). Рисунки выполнены с использованием пакета Surfer 8 и программы Excel из пакета MS Office 2007.

Результаты и обсуждение

Термические условия. В подлёдный период термические условия в сравниваемые годы были схожими. Максимальная температура в поверхностном слое воды в марте в оба года составляла 0,6 °С, а средневзвешенные значения в слое 0–50 м – 0,83 °С в 1988 г. и 1,0 °С в 2009 г. Поздней весной в мае-июне при температуре 2–4 °С наблюдалась гомотермия, либо близкие к ней условия.

Оба года различаются по степени и динамике прогрева вод в летний период. В 2009 г. в поверхностном слое воды температура достигала 18,2 °С при среднем значении для июля – сентября 12,4±1,3 °С. В 1988 г. она была значительно ниже: 12,6 °С и 9,8±1,1 °С соответственно. При сравнении средневзвешенных значений температуры в слое 0–50 м различия между годами менее значительны. Максимальная средневзвешенная температура составляла 11,9 °С в 2009 г. и 10,2 °С в 1988 г., средняя 8,0±0,6 °С в 2009 г. и 7,4±0,8 °С в 1988 г.

В 2009 г. прогревание верхних слоёв воды до 10 м было интенсивным и к началу августа достигло максимума. В конце июля – августе установилась выраженная прямая термическая стратификация водной толщи (рис. 1 А; Б). Верхние слои воды до 10 м (а в конце июля до 25 м) были прогреты до 12–18 °С, а на глубине 50 м температура не превышала 5,2 °С. CV температуры в период термической стратификации составлял 35–59 %. В конце августа верхний слой воды начал охлаждаться, в конце сентября при усилении ветрового перемешивания стратификация разрушилась и наступила осенняя гомотермия при достаточно высокой температуре воды (8–9 °С).

В 1988 г. прогревание вод началось позднее, чем в 2009 г. Гомотермия при температуре 4 °С сохранялась до первой декады июля. Прогревание верхних слоёв воды до 11–12 °С и установление прямой термической стратификации произошло только в первой половине августа, продержалась она вплоть до начала октября (рис. 2, А, Б). Однако 18 августа температура снизилась почти вдвое, вероятно, в результате нагона холодных вод под воздействием ветров северо-западного направления. В середине сентября мощность прогретого слоя достигала 25 м. На глубине 50 м температура составляла 5,4–7 °С. В период термической стратификации CV температуры составлял 20–32 %, т. е. был почти вдвое ниже, чем в 2009 г. Осенняя гомотермия также начала устанавливаться позднее, чем в 2009 г. – только в конце октября при температуре 6 °С, однако сохранялась более длительное время – до середины ноября.

Общая численность фитопланктона. Интенсивность развития фитопланктона в Байкале претерпевает значительные внутригодовые и межгодовые изменения [1; 4; 6]. В рассматриваемые годы показатели количественного развития фитопланктона значительно различались. В 2009 г. они были выше, чем в 1988 г. (см. рис. 1, А, В, 2, А, В), как в подлёдный период, так и в период открытой воды.

В подлёдный период 2009 г. во второй половине марта наблюдалась интенсивная вегетация фитопланктона. Максимальная общая численность фитопланктона была высокой – до 3 млн кл./л, в основном за счёт развития крупных перидиней *Gymnodinium baicalense*. Средневзвешенные значения общей численности в слое 0–50 достигали почти 800 тыс. кл./л. Мощная вегетация подо льдом является одной

из особенностей развития фитопланктона в Байкале, но происходит не каждый год. В 1988 г. этого явления не наблюдалось. Общая численность фитопланктона достигла к февралю 400 тыс. кл./л и оставалась на этом уровне до конца марта. Средневзвешенные значения численности в слое 0–50 были почти в 3 раза ниже, чем в 2009 г.

В период открытой воды в оба года наблюдались три подъёма общей численности фитопланктона. В 2009 г. подъёмы происходили в начале мая, во второй половине июля и начале сентября. В поверхностном слое воды летние максимумы были высокими (2,1–2,3 млн кл./л), но уступали подлёдному. Самая высокая средневзвешенная численность в слое 0–50 м наблюдалась во время летнего максимума в середине июля. Достигая 1,8 млн кл./л, она вдвое превышала все другие максимумы (в том числе и подлёдный).

В 1988 г. подъёмы численности наблюдались на 1–2 недели позднее, чем в 2009 г. – в середине мая, в начале августа и во второй половине сентября. В поверхностном слое воды летние максимумы составляли 1,2–1,3 млн кл./л и превышали поздневесенний максимум в мае в 2 раза. Средневзвешенная численность в слое 0–50 м в период летних подъёмов находилась на уровне 0,8 млн кл./л, а поздней весной была меньше в 1,5 раза – 0,5 млн кл./л.

Вертикальное распределение фитопланктона. Внутригодовой ход вертикального распределения общей численности фитопланктона характеризуется следующими особенностями. В подлёдный период 2009 г. интенсивное развитие фитопланктона началось уже в конце февраля (см. рис. 1, В). Численность на уровне 400–900 тыс. кл./л регистрировалась от поверхности до глубины 25 м, к 50 м снижаясь до 120 тыс. кл./л. Дальнейшее увеличение численности ко второй половине марта во время массовой вегетации перидиней у поверхности привело к почти 5-кратному росту. На нижележащих горизонтах численность изменилась мало. CV численности увеличился с 55 % (в феврале) до 90–114 %. В начале апреля развитие перидиней начало угасать, общая численность фитопланктона у поверхности упала почти в 3 раза. Вертикальный профиль стал выравниваться, близкие значения наблюдались до глубины 10 м, затем постепенно уменьшались. CV численности снизился до 49 %.

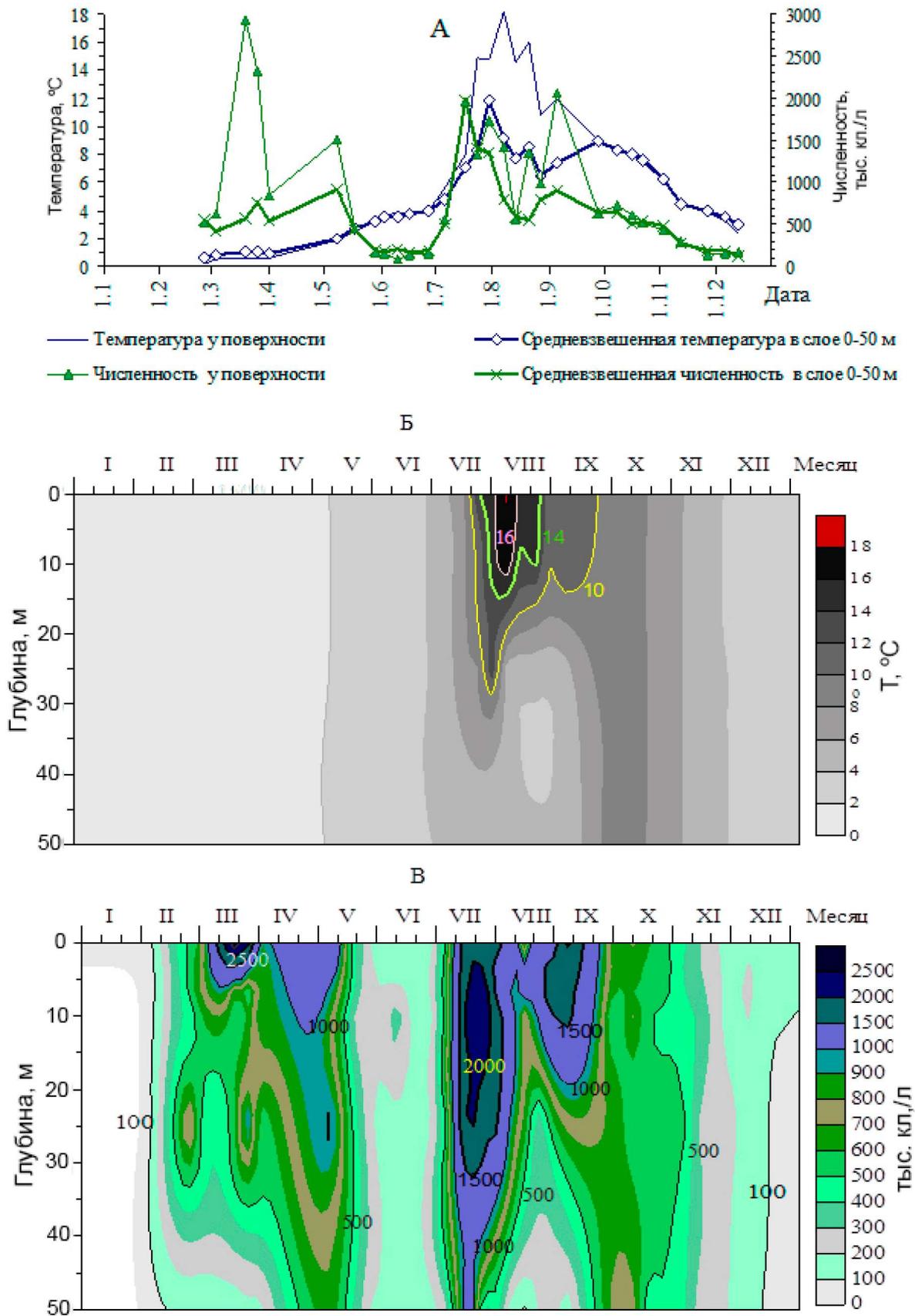


Рис. 1. Температура и общая численность фитопланктона в слое 0–50 м в 2009 г. Южный Байкал, ст. № 1: А – сезонные изменения температуры воды и численности фитопланктона в слое 0–50 м; Б – вертикальные изменения температуры; В – вертикальные изменения общей численности фитопланктона

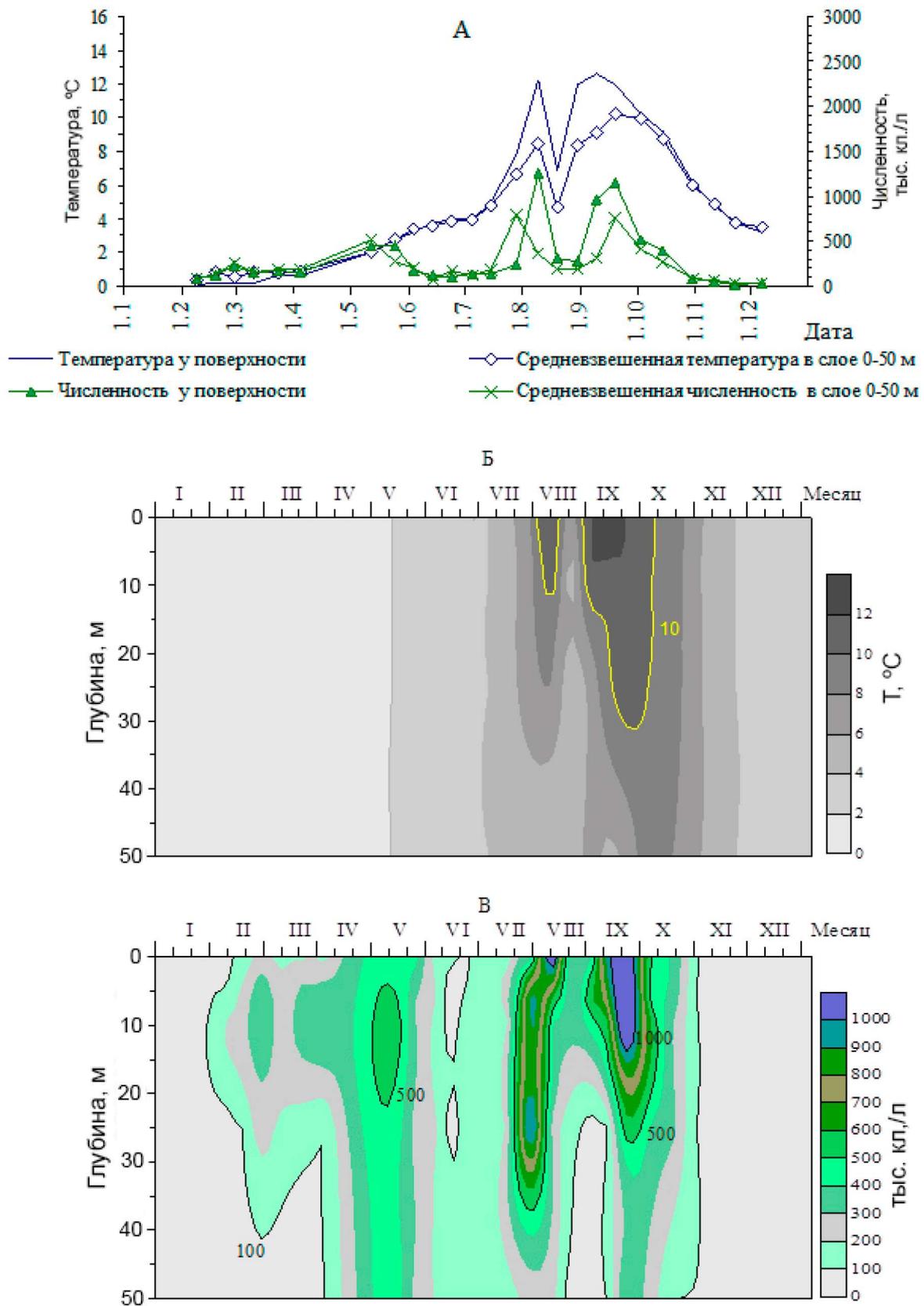


Рис. 2. Температура и общая численность фитопланктона в слое 0–50 м в 1988 г. Южный Байкал, ст. № 1. А – сезонные изменения температуры воды и численности фитопланктона; Б – вертикальные изменения температуры; В – вертикальные изменения общей численности фитопланктона

В подлёдный период 1988 г. развитие фитопланктона было слабым, численность не превышала 500 тыс. кл./л. Максимальные значения регистрировались на глубине 5–10 м, минимальные – на 50 м. CV численности изменялся от 48 до 77 %.

Во время весенней гомотермии фитопланктон распределён по вертикали относительно равномерно в оба года. Максимальные значения общей численности регистрировались от поверхности воды до 25 м, они превышали минимальные всего в 1,3–2,2 раза. CV численности по вертикали уменьшались до 9–33 % в 2009 г. и до 14–32 % в 1988 г.

Развитие летнего комплекса водорослей в 2009 г. было интенсивным. В середине июля при прогревании воды до 7–8 °С численность на уровне 1,5–2 млн кл./л регистрировалась на всех глубинах от поверхности до 25 м (см. рис. 1, В) и на 50 м превышала 1 млн кл./л. Распределение по вертикали оставалось относительно равномерным, CV численности был невысоким – 21 %. К концу июля 2009 г. на фоне выраженной прямой термической стратификации неравномерность в вертикальном распределении фитопланктона увеличилась, CV возрос до 41–67 %. Наибольшая численность фитопланктона наблюдалась до глубины 10 м, наименьшие значения приурочены к глубине 50 м.

В летний период 1988 г. по сравнению с 2009 г. температурные условия были менее благоприятными для развития фитопланктона. В первой половине июля при невысокой численности фитопланктон распределялся в водной толще относительно равномерно (см. рис. 2, В). К концу июля при прогревании воды до 7–8 °С его численность возросла. Максимальные значения около 1 млн кл./л наблюдались на глубинах от 5 до 25 м, минимальные – на 50 м. В первой декаде августа при установлении прямой термической стратификации численность фитопланктона была максимальной у поверхности и убывала с глубиной. CV численности увеличился до 76 %. В середине августа в условиях штормовой погоды температура упала вдвое, общая численность фитопланктона также снизилась в поверхностном слое воды в 4 раза, на глубине 50 м в 5 раз. CV численности понизился до 54 %. В конце августа – первой половине сентября после повышения температуры до 10 °С произошло увеличение численности фитопланктона в слоях воды до 10 м. Её вариабельность по вертикали была высокой, CV составлял 79–90 %. К середине сентября численность фитопланктона продолжала расти

и достигла позднелетнего максимума, равного 1,2 млн кл./л. В слое 25–50 м число водорослей также увеличилось до 400–500 тыс. кл./л. Вертикальный профиль численности стал более сглаженным, CV снизился до 44 %. Подобное распределение по вертикали при более низкой численности фитопланктона сохранялось до середины октября.

В период осенней гомотермии фитопланктон распределён в водной толще равномерно, в оба года наблюдений CV численности невелики: 12–24 %. Межгодовые различия состояли в сроках наступления и окончания гомотермии и соответствующего равномерного распределения фитопланктона. В 2009 г. гомотермия наступила уже в конце сентября и продолжалась до середины ноября. В 1988 г. вторая половина сентября и октябрь были теплее и гомотермия установилась позднее, чем в 2009 г. Выравнивание температуры по вертикали началось только в конце октября, а полная гомотермия установилась во второй половине ноября.

В декабре фитопланктон беден, особенно в 1988 г. Его распределение в водной толще в оба года остаётся относительно равномерным с CV численности 18–28 %.

Зависимость вертикальной изменчивости численности фитопланктона от температуры воды. Температура воды является важным фактором сезонной изменчивости численности фитопланктона. В поверхностном слое воды обычно наблюдается тесная зависимость между температурой воды и обилием фитопланктона [3]. Но роль абсолютных значений температуры в формировании вертикальных профилей численности фитопланктона оказывается менее существенной. Зависимость средневзвешенной численности фитопланктона от средневзвешенной температуры воды в слое 0–50 м в оба года слабая, коэффициенты корреляции составляют соответственно 0,56 и 0,44.

Анализ связи между CV температуры и CV численности показал, что она имеет различный характер в период открытой воды и подлёдный период. В период открытой воды в оба года связь между этими показателями тесная, коэффициент корреляции равен 0,84 в 2009 г. и 0,88 в 1988 г. Она имеет линейный характер (рис. 3), а доля объяснённой вариации численности фитопланктона составляет 70 % в оба года. Тесная связь между CV температуры и CV численности указывает на то, что их вертикальные изменения зависят от действия общего фактора, либо изменения температуры вызы-

вают изменения численности опосредованно через общий процесс. Очевидно, таким общим фактором является динамика водных масс.

Так, весной и осенью под влиянием изменения температуры возникает весенняя и осенняя циркуляция вод, которая чисто механически обуславливает равномерное вертикальное распределение фитопланктона. Летом ветра северо-западного направления вызывают сгонно-нагонные явления и возникновение компенсационных течений, которые приводят к резкому снижению как температуры воды, так и численности фитопланктона. При этом происходит подток биогенных элементов из глубин-

ных слоёв воды. При штилевой погоде и отсутствии лимитирования биогенными элементами возможно прямое влияние роста температуры воды на численность фитопланктона.

В подлёдный период характер зависимости CV численности от CV температуры меняется: эта зависимость становится обратной. Теснота связи между этими показателями слабая: в 2009 г. коэффициент корреляции равен 0,57, а в 1988 г. – 0,26. В подлёдный период температура воды не является основным фактором, влияющим на распределение планктонных водорослей в толще воды.

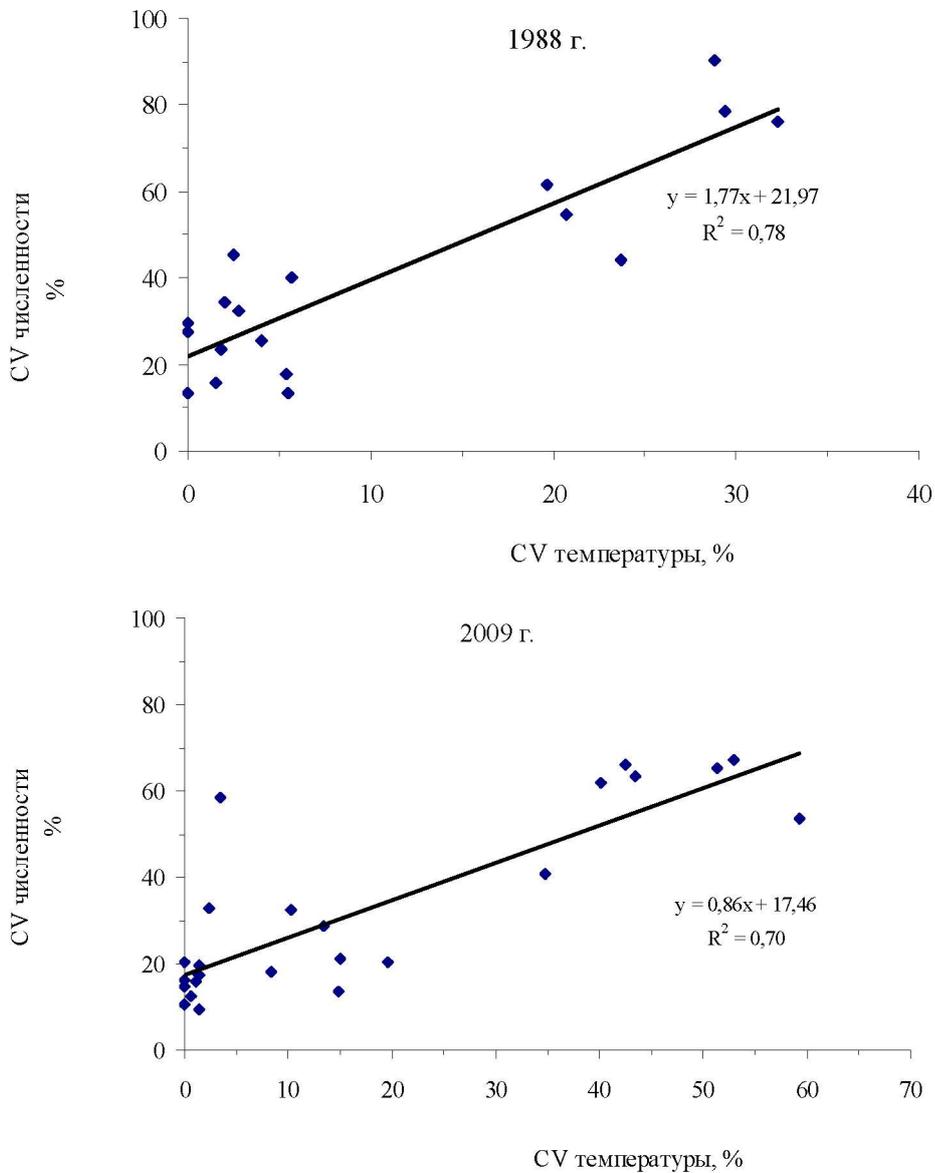


Рис. 3. Зависимость коэффициентов вариации (CV) численности фитопланктона от коэффициентов вариации температуры в слое воды 0–50 м в период открытой воды в 1988 и 2009 гг. Южный Байкал, ст. № 1

Заключение

Рассматриваемые годы различаются по термическим условиям в летний период. В 1988 г. вода прогревалась в более поздние сроки и не столь интенсивно, как в 2009 г., а вертикальное распределение температуры в летний период было более равномерным.

По степени развития фитопланктона 2009 г. следует отнести к урожайным. Наблюдалась мощная вспышка развития фитопланктона подо льдом, во время которой общая численность достигала почти 3 млн кл./л. При открытой воде интенсивность развития фитопланктона также была высокой – до 2 млн кл./л. В 1988 г. озеро менее продуктивно, чем в 2009 г. Подлёдной вспышки развития фитопланктона не отмечено. При открытой воде подъёмы общей численности наблюдались в более поздние сроки, а по уровню были вдвое ниже, чем в 2009 г. Такие различия согласуются с различиями в температурном режиме, отмеченными в эти годы в летний период.

Вертикальное распределение численности фитопланктона в слое 0–50 м характеризуется значительной сезонной изменчивостью. Сезонный ход вертикального распределения численности в исследованные годы в общем был сходен, хотя в некоторые периоды имелись и различия. В подлёдный период при обратной термической стратификации наиболее типичным являлся вертикальный профиль с максимумом численности на глубинах 5–10 м и минимумом на 50 м. Только при развитии перидиней (конец марта 2009 г.) наблюдается ярко выраженный максимум численности у поверхности. В период открытой воды при весенней и осенней гомотермии фитопланктон распределяется в водной толще относительно равномерно.

В летний период, несмотря на разную интенсивность прогрева воды и степень развития фитопланктона, в оба года отмечаются близкие профили распределения фитопланктона по вертикали. Различия касаются в основном сроков их наступления и продолжительности. В июле в оба года отмечено относительно равномерное распределение фитопланктона в водной толще. С установлением прямой термической стратификации появляется значительная неравномерность в вертикальном распределении фито-

планктона. В этот период характер распределения фитопланктона по вертикали с максимальной численностью в верхних слоях воды и минимальной на 50 м наблюдался в оба года.

Температура воды опосредованно влияет на вертикальное распределение фитопланктона через гидродинамические процессы, прямое влияние температуры воды наблюдается только при штилевой погоде.

Авторы благодарны Г. С. Каплиной и С. В. Александровой за ценную помощь в обработке проб фитопланктона.

Публикация статьи осуществлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 13-04-06068-г.

Литература

1. Антипова Н. Л. Межгодовые изменения в фитопланктоне Байкала в районе Больших Котов за период 1960–1970 гг. / Н. Л. Антипова // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. – Иркутск, 1974. – С. 75–84.
2. Вербицкий В. Б. Вертикальное распределение планктона / В. Б. Вербицкий // Курс лекций по планктонологии [Электронный ресурс]. – ИБВВ РАН, 2008–2013. URL: <http://ibiw.ru> (дата обращения: 10.10.2013.)
3. Измestьева Л. Р. Температурный режим и развитие фитопланктона в пелагиали Байкала / Л. Р. Измestьева // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. – Новосибирск : Наука, 2004. – С. 82–86.
4. Измestьева Л. Р. Структура и сукцессии фитопланктона / Л. Р. Измestьева, О. М. Кожова // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск : Наука, 1988. – С. 97–129.
5. Измestьева Л. Р. Опыт пространственного зондирования фитопланктона с применением погружного импульсного флуориметра / Л. Р. Измestьева, И. Ю. Кузнецов // Оценка продуктивности фитопланктона. – Новосибирск : Наука, 1993. – С. 61–69.
6. Поповская Г. И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Г. И. Поповская. – Новосибирск : Сиб. ботан. сад, 1991. – 32 с.
7. Reynolds C. S. Dynamic, selection and composition of phytoplankton in relation to vertical structure in lakes / C. S. Reynolds // Arch. Hydrobiol. Beih. – 1992. – Vol. 35. – P. 13–31.

Vertical changes of South Baikal phytoplankton number in years various by temperature

L. S. Krashchuk, S. V. Shimaraeva

Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. The changes of general number of phytoplankton in photic layer of South Baikal at permanent station near Bol'shie Koty settlement in 1988 and 2009 years differing in temperature are presented. In these years the quantitative development of phytoplankton differs greatly. In warmer 2009 general number of phytoplankton was higher, and its vertical dynamics was characterized by longer time of summer stratification. The close connection between changes of phytoplankton number and water temperature during summer is established.

Keywords: South Baikal, phytoplankton, vertical dynamics, temperature conditions

Крацук Людмила Степановна
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник, Научно-исследовательский
институт биологии
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел (3952) 24-30-77, факс (3952) 34-00-07
E-mail: root@bio.isu.runnet.ru

Krashchuk Lyudmila Stepanovna
Ph. D. in Biology, Senior Research Scientist,
Research Institute for Biology,
Irkutsk State University
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 24-30-77, fax: (3952)34-00-07
E-mail: root@bio.isu.runnet.ru

Шимараева Светлана Владимировна
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник, Научно-исследовательский
институт биологии
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел (3952) 24-30-77, факс (3952) 34-00-07
E-mail: root@bio.isu.runnet.ru

Shimaraeva Svetlana Vladimirovna
Ph. D. in Biology, Senior Research Scientist,
Research Institute for Biology
Irkutsk State University
1 K. Marx., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 24-30-77, fax: (3952)34-00-07
E-mail: root@bio.isu.runnet.ru