

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВИРУСОПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАНКТОНЕ ОЗ. БАЙКАЛ

С.А. Потапов, Т.В. Бутина, О.И. Белых

¹ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, РФ, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
E-mail: poet1988@list.ru; tvbutina@mail.ru; belykh@lin.irk.ru

В работе изучена сезонная, межгодовая динамика численности и вертикальное распределение вириопланктона, пикопланктонных цианобактерий и гетеротрофных бактерий в период с 2011 по 2016 гг. в озере Байкал.

Ключевые слова: вириопланктон, эпифлуоресцентная микроскопия, оз. Байкал.

Введение. Вирусы являются наиболее многочисленными объектами в биосфере. Они влияют на многие биогеохимические и экологические процессы [1, 2]. В водной среде вирусы являются важным фактором регуляции численности и структуры микробных сообществ [3]. Бактериофаги (вирусы бактерий) поражают автотрофные и гетеротрофные бактерии – основной компонент планктона морских и пресных экосистем [4, 5]. Существование вирусов в морях впервые было показано еще советскими учеными [6]. Первые исследования морских вирусов с помощью трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) выявили их большую численность $\sim 10^7$ частиц/мл [4,5]. В пресных водоёмах вирусы менее изучены. Известно, что их численность значительно варьирует в зависимости от трофического уровня озер и может составлять от 10^4 до 10^8 частиц/мл [7]. Байкал является крупнейшим пресноводным олиготрофным водоёмом Центральной Азии. Геологические, географические и гидрологические особенности озера определяют его уникальность и высокую степень эндемизма гидробионтов [8]. В 2000 г. были получены с помощью эпифлуоресцентной микроскопии (ЭФМ) первые данные о наличии и высокой концентрации вирусоподобных частиц в планктоне оз. Байкал ($5,9 \cdot 10^6$ частиц/мл) [9]. Позднее на основе данных ТЭМ описана морфология различных типов фагов, произведена оценка численности и сезонная динамика бактериофагов в планктонных пробах воды, отобранных в различных районах

и на разных глубинах озера Байкал [10, 11]. В настоящее время, в связи с масштабными изменениями в экосистеме оз. Байкал, такими как уменьшение уровня, гибель эндемичных губок, массовое развитие цианобактерий, важно отслеживать состояние всех компонентов планктона.

Материалы и методы. Пробы воды были отобраны в южной котловине оз. Байкал в 2011–2016 гг. в летне-осенний период на центральной станции разреза п. Листвянка – п. Танхой ($51^\circ 42,1179$ N; $105^\circ 00,6991$ E). Пробы отбирали с поверхности до глубины 1200 м системой батометров SBE-3 (Carousel Water Sampler, Seabird, США). Для учёта вирусных частиц, гетеротрофных бактерий и цианобактерий использовали ЭФМ (Carl Zeiss, Axio Imager M1). Концентрацию вирусов оценивали с помощью флуорохрома SYBR Green I [12], для бактерий применяли краситель DAPI [13], пикопланктонные цианобактерии (ПЦБ) учитывали по автофлуоресценции фикобилинов. Пробы просчитывали в трёх повторностях, в работе приведены средние значения численности. Для статистической обработки данных использовали программу STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение. Результаты сезонной динамики численности вирусных частиц, гетеротрофных бактерий и пикоцианобактерий на центральной станции разреза п. Листвянка – п. Танхой в 2015 и 2016 гг. представлены на рис. 1.

Численность пикоцианобактерий была самой низкой в июне и почти не раз-

личалась по годам 2015 и 2016 гг. и составляла $0,02 \cdot 10^6$ кл/мл. Наиболее высокую концентрацию ПЦБ наблюдали в сентябре 2015 г. – $0,82 \cdot 10^6$ кл/мл, она была выше таковой в 2016 г.

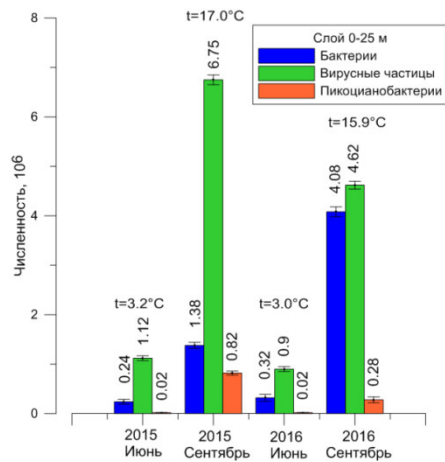


Рис. 1. Сезонная динамика численности компонентов планктона оз. Байкал на станции п. Листвянка – п. Танхой в слое 0–25 м, в 2015 и 2016 гг. *t* – температура поверхности (0 м)

Концентрация гетеротрофных бактерий в летние периоды 2015 и 2016 гг. была $0,24$ и $0,32 \cdot 10^6$ кл/мл, соответственно. В сентябре 2016 г. наблюдали максимальные показатели численности бактерий ($4,08 \cdot 10^6$ кл/мл), по сравнению с июнем она выросла в 13 раз. В сентябре 2015 г. численность бактерий возросла в 6 раз, по сравнению с июнем. Максимальная концентрация вирусоподобных частиц отмечена осенью 2015 г. ($6,75 \cdot 10^6$ частиц/мл) – в период сезонного пика развития пикоцианобактерий и в год высокоурожайный по пикопланктону. Осенью 2015 г. была высокая температура и малое количество осадков, также в этом году наблюдали падение уровня Байкала [14]. Минимальная численность вирусов выявлена в июне 2015 и 2016 гг. Самое низкое количество вирусов отмечено в начале июня 2016 г. – $0,9 \cdot 10^6$ частиц/мл.

Для слоя 0 – 25 м соотношение вирусы/бактерии варьировало от 1,5:1 до 4:1 и было в пределах соотношений указанных в других работах [15, 16].

Выявленная зависимость между ростом численности пикоцианобактерий и повышением количества вирусных частиц, показывает, что в исследуемый

период в вирусном сообществе увеличилась доля цианофагов – вирусов, поражающих цианобактерии. Увеличение количества вирусов неоднократно наблюдалась в других водоёмах при цианобактериальном "цветении" [17, 18]. Численность вирусов, показано, зависит от трофности водоёма. Наши результаты по численности вирусных частиц сходны с полученными ранее данными для олиготрофных озёр Gossenkollesee ($4 \cdot 10^6$ частиц/мл) [16], Superior ($0,2 - 0,9 \cdot 10^6$ частиц/мл) [19] и для озёр Антарктики ($1 - 3,3 \cdot 10^6$ частиц/мл) [17].

Межгодовая динамика. Начиная с 2011 г., проводили ежегодный отбор проб в сентябре для учёта бактерий, вирусов и пикоцианобактерий на центральной станции разреза п. Листвянка – п. Танхой. Динамика численности вирусов и бактерий в Южном Байкале показана на рис. 2. Слой 0–25 м взят как наиболее показательный т.к. находится в эпилимнионе и, как правило, составляет "трофогенный" слой водоёма. Именно в нём происходит продукция органического вещества первичными продуцентами и его наибольшее количество. В целом, анализируя полученные данные, можно отметить в исследуемый период увеличение концентрации гетеротрофных бактерий и вирусов, исходя из линий тренда численности. Выявлена зависимость численности компонентов планктона от температуры ($r = 0,30 - 0,75$). Как уже указывали, наибольшее количество вирусов в осенний период выявлено в 2015 г., самое низкое в 2011 г. Для слоя 0–25 м соотношение вирусы/бактерии варьировало от 0,9:1 в 2011 г. до 3:1 в 2015 г.

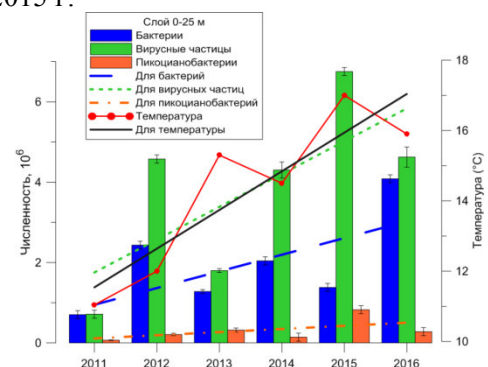


Рис. 2. Межгодовая динамика численности компонентов планктона оз. Байкал на станции п. Листвянка – п. Танхой в слое 0 – 25 м

За период исследований выявлена положительная корреляция между численностью вирусов и гетеротрофных бактерий ($r = 0,92 - 0,97$), вирусов и пикоцианобактерий ($r = 0,79 - 0,95$). Данные показывают на большую зависимость количества вирусов от численности гетеротрофных бактерий, чем вирусов от пикоцианобактерий.

Вертикальное распределение компонентов вирусной "петли". Результаты исследования отражены на рис. 3 и 4. Полученные в данной работе оценки численности вирусов, гетеротрофного бактериопланктона и пикопланктона оз. Байкал были сопоставимы с описанными ранее другими авторами [20–23].

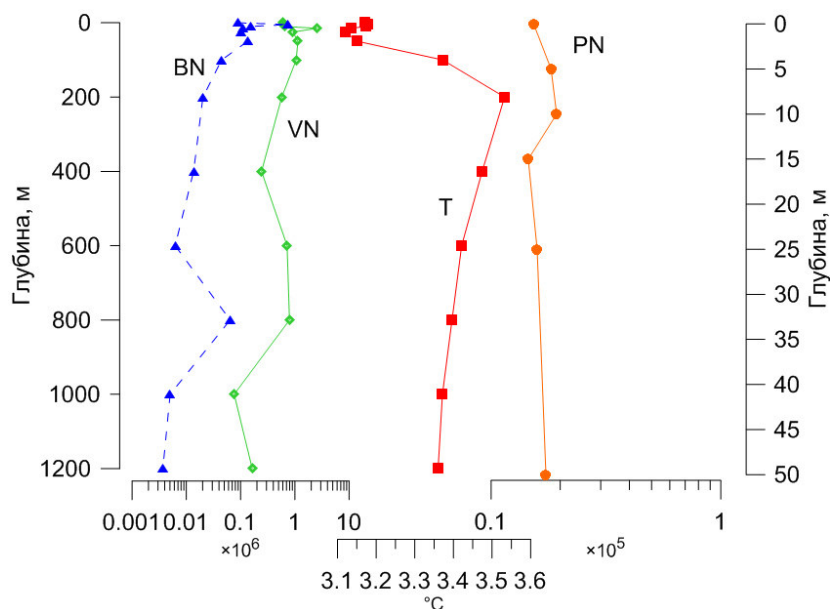


Рис. 3. Профили вертикального распределения компонентов вирусной "петли", на глубоководной станции в южной части оз. Байкал (июнь 2015 г.). BN – численность бактерий (кл/мл), VN – численность вириопланктона (частиц/мл), PN – численность пикоцианобактерий (кл/мл), T – температура

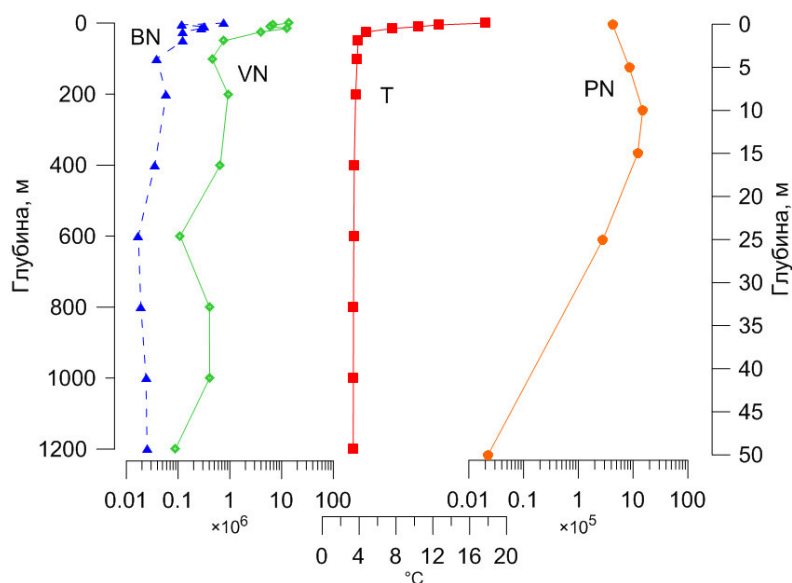


Рис. 4. Профили вертикального распределения компонентов вирусной "петли", на глубоководной станции в южной части оз. Байкал (август 2015 г.). BN – численность бактерий (кл/мл), VN – численность вириопланктона (частиц/мл), PN – численность пикоцианобактерий (кл/мл), T – температура

В начале лета в условиях гомотермии [24] и диапазоне изменения температуры воды +3,2 – +3,5°C, вертикальное распределение исследуемых показателей на центральной точке разреза п. Листвянка – п. Танхой было неоднородным (рис. 3). Наиболее высокая численность бактерио- (до $0,75 \cdot 10^6$ кл/мл) и вириопланктона (до $2,5 \cdot 10^6$ частиц/мл), величины отношения вирусы/бактерии (20:1) наблюдали в верхнем 25-метровом слое. Максимум вирусов был выявлен на глубине 15 м и соответствовал низкой численности других компонентов вирусной "петли". Подобное распределение вертикальной структуры микробиоты в фотическом слое в отсутствие стратификации водной толщи могла указывать на достаточно высокую интенсивность микробиологических процессов (в том числе – вовлеченных в вирусную "петлю") и ключевую роль биотических факторов в формировании этой структуры, а именно – трофических процессов и литической активности вирусов. На больших глубинах, где фотоавтотрофы отсутствовали, численности вирусных частиц и бактерий были низкими, однако их соотношение было выше в гипolimнионе – от 11 до 44. Пик соотношения вирусы/бактерии (44:1) на глубине 1200 м соответствовал абсолютному минимуму бактериальной численности и небольшому увеличению обилия вирусных частиц на этой глубине.

В августе наблюдали типичную стратификацию верхней части водной толщи – зона температурного скачка (+18 – +4°C) простиралась до глубины около 25 м. В фотическом слое было отмечено 2 пика численности вирусов – на глубине 15 м и в поверхностном слое (рис. 4.).

На больших глубинах распределение отношения вирусы/бактерии было неоднородным – с двумя пиками на 400 и 800 м. Таким образом, в августе стратификация водного столба в оз. Байкал оказывала существенное влияние на формирование вертикальной структуры всех компонентов вирусной "петли". За

пределами фотической зоны (на глубине около 100 м) почти все показатели выходили на свои минимумы, обозначая некую "границу" между микробными процессами фотического слоя и глубоководной зоны.

Заключение. Численность вирусов в период 2011 – 2016 гг. изменялась в 9 раз. Наибольшее обилие компонентов наблюдали в эпилимнионе озера в осенний период. В целом соотношения вирусы/бактерии и численности микроорганизмов соответствовали таковым в других олиготрофных озёрах. Установлена положительная корреляция численности вирусов с бактериями в воде озера.

Работа выполнена в рамках гос. темы 0345–2014–0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fuhrman J.A.* Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects // *Nature*. 1999. Т. 399. № 6736. С. 541–548.
2. *Suttle C.A.* Viruses in the sea // *Nature*. 2005. Т. 437. № 7057. С. 356–361.
3. *Kutter E., Sulakvelidze A.* Bacteriophages: Biology and Applications. Boca Raton-London-New-York-Washington: CRC Press, 2005.
4. *High abundance of viruses found in aquatic environments / O. Bergh, K.Y. Borsheim, G. Bratbak [et al.]* // *Nature*. 1989. Т. 340. № 6233. С. 467–468.
5. *Proctor L.M., Fuhrman J.A.* Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria // *Nature*. 1990. Т. 343. С. 60–62.
6. *Кривс А.Е., Рукина Е.А.* Бактериофаг в море // *ДАН СССР*. 1947. Т. 57. С. 833–836.
7. *Wommack K.E., Colwell R.R.* Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems // *Microbiol Mol Biol Rev*. 2000. Т. 64. № 1. С. 69–114.
8. *Kozhova O.M., Izmet'eva L.R., Kozhov M.M.* Lake Baikal: evolution and biodiversity. Backhuys Publishers, 1998.

9. *Белых О.И., Беликов С.И.* Выявление и учет вирусоподобных частиц в байкальской воде с помощью эпифлуоресцентной микроскопии // Третья Верецагинская Байкальская конфер.: тез. докл. 2000. С. 27.
10. *Дрюккер В.В., Дутова Н.В.* Бактериофаги как новое трофическое звено в экосистеме глубоководного озера Байкал // ДАН. 2009. Т. 427. № 2. С. 277–281.
11. *Дрюккер В.В., Дутова Н.В.* Изучение морфологического разнообразия бактериофагов озера Байкал // ДАН. 2006. Т. 410. № 6. С. 847–849.
12. *Noble R.T., Fuhrman J.A.* Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // *Aquatic Microbial Ecology*. 1998. Т. 14. № 2. С. 113–118.
13. *Porter K.G., Feig Y.S.* The use of DAPI for identification and enumeration of bacteria and blue-green algae // *Limnol. Oceanogr.* 1980. Т. 25. № 5. С. 943–948.
14. *Федеральное агенство водных ресурсов* (дата обращения: 16.11.2016). URL: <http://www.voda.mnr.gov.ru/>.
15. *Virioplankton and microbial communities in aquatic systems: a seasonal study in two lakes of differing trophy / Y. Bettarel, T. Sime-Ngando, C. Amblard [et al.]* // *Freshwater Biology*. 2003. Т. 48. № 5. С. 810–822.
16. *Hofer J.S., Sommaruga R.* Seasonal dynamics of viruses in an alpine lake: importance of filamentous forms // *Aquatic microbial ecology*. 2001. Т. 26. С. 1–11.
17. *Laybourn-Parry J., Hofer J.S., Sommaruga R.* Viruses in the plankton of freshwater and saline Antarctic lakes // *Freshwater Biology*. 2001. Т. 46. № 9. С. 1279–1287.
18. *Ma-LMM01 infecting toxic Microcystis aeruginosa illuminates diverse cyanophage genome strategies / T. Yoshida [et al.]* // *J Bacteriol.* 2008. Т. 190. С. 1762–1772.
19. *Tapper M.A., Hicks R.E.* Temperate viruses and lysogeny in Lake Superior bacterioplankton // *Limnol. Oceanogr.* 1998. Т. 43 (1). С. 95–103.
20. *Поповская Г.И., Белых О.И.* Этапы изучения автотрофного пикопланктона озера Байкал // *Гидробиол. журн.* 2003. Т. 39. № 6. С. 12–24.
21. *Abundance and pigment type composition of picocyanobacteria in Barguzin Bay, Lake Baikal / T. Katano [et al.]* // *Limnology*. 2008. Т. 9. С. 105–114.
22. *Изучение состава водного бактериального сообщества озера Байкал методом гибридизации IN SITU / Белькова Н.Л. [и др.]* // *Микробиология*. 2003. Т. 72 (2). С. 282–283.
23. *Belykh O.I., Sorokovikova E.G.* Autotrophic picoplankton in Lake Baikal: Abundance, dynamics, and distribution // *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 2003. Т. 6 (3). С. 251–261.
24. *Галазий Г.И.* Байкал в вопросах и ответах. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1987. 167 с.

THE INTERANNUAL DYNAMICS AND VERTICAL DISTRIBUTION OF VIRUS-LIKE PARTICLES OF LAKE BAIKAL

S.A. Potapov, T.V. Butina, O.I. Belykh

Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Irkutsk, Ulan-Batorskaya, 3

The interannual dynamics and vertical distribution of virioplankton, picoplankton cyanobacteria and heterotrophic bacteria during the period from 2011 to 2016 in Lake Baikal were studied in the work.

Keywords: virioplankton, epifluorescence microscopy, Lake Baikal.