

Никитин Олег Владимирович.

канд. геогр. наук, доцент,
Казанский Федеральный Университет,
г. Казань

Перевозчикова Екатерина Валерьевна,

магистрант 2 курса,
Казанский Федеральный Университет,
г. Казань

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЛАВАТЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ *DAPHNIA MAGNA*

Аннотация: В данной работе рассматривается влияние ультрафиолетового излучения ближнего спектра действия (385 нм) на плавательное поведение *Daphnia magna*. Показано, что ультрафиолетовое излучение оказывает влияние на двигательную активность *Daphnia magna* при минимальном времени воздействия.

Ключевые слова: дафнии, ультрафиолетовое излучение, плавательное поведение.

Ультрафиолетовое излучение и его вредное влияние на организмы

Ультрафиолетовое излучение – невидимое человеческим глазом электромагнитное излучение, которое занимает спектральную область между видимым и рентгеновским излучениями в пределах длин волн от 400 до 10 нм. Область ультрафиолетового излучения поделен на подгруппы. Он условно делится на ближний ультрафиолет (400–300 нм), средний ультрафиолет (300–200 нм) и дальний ультрафиолет (200–120 нм). Последнее название связано с тем, что ультрафиолетовое излучение данного диапазона в значительной степени поглощается воздухом и его исследование возможно только в вакууме [1].

В естественных экосистемах организмы сталкиваются с колебаниями нескольких экологических угроз, таких как ультрафиолетовое (УФ) излучение, и они варьируются как во временных, так и в пространственных измерениях. Угроза ультрафиолетового излучения существует дольше, чем любая жизнь на земле, и интенсивность излучения изначально была выше, чем в настоящее время [2]. По мере эволюции фотосинтезирующих организмов в итоге сформировался озоновый слой. Этот слой экранирует большую часть ультрафиолетового излучения, но некоторые из них все еще проникают в биосферу и влияют на жизнь на земле. В ответ на это длинная эволюционных адаптаций объединилась в различные стратегии, которые позволяют организмам справляться с ультрафиолетовым излучением. В связи с недавним сокращением озонового слоя в стратосфере уровень ультрафиолетового излучения возрос во многих частях мира и, вероятно, будет расти еще больше, по крайней мере в ближайшие десятилетия [3]. Это вызывает опасения по поводу увеличения радиационного повреждения ДНК и других клеточных структур, а также биогеохимических процессов [2].

Повышенный уровень ультрафиолетового излучения вследствие ослабления озонового слоя могут иметь необратимые последствия для живых организмов. Снижение содержания озона на 10 % может привести примерно к 20 % повышению ультрафиолетового излучения, проникающего на поверхность Земли, в зависимости от соответствующего биологического процесса. Хотя влияние на здоровье человека, урожайность, рыболовство и т. д. почти не было исследовано, но описаны неблагоприятные воздействия повышенного средневолнового ультрафиолетового излучения (УФ–В) на рост растений, их фотосинтез и сопротивляемость болезням. Также описанные воздействия повышенных уровней ультрафиолетового излучения



на водные экосистемы (которые в свою очередь вносят основной вклад в биомассу земного шара) может быть существенным. Фитопланктон, который является основанием водной пищевой цепочки, служит пищей для личинок рыбы и креветок. Далее они поедаются рыбой, которая впоследствии обеспечивает источник питания для многих людей и других животных. Значительное уменьшение фитопланктона вследствие повышенного ультрафиолетового излучения непосредственно затронет морские источники пищи человека и животных [4].

Среднее ультрафиолетовое излучение является экологическим стрессором для многих водных потребителей, включая зоопланктон, ракообразных, амфибий, рыб и кораллов. Многие водные производители и потребители полагаются на стратегии предотвращения, механизмы восстановления и синтез поглощающих ультрафиолетовое излучение веществ для защиты. Однако было получено относительно мало информации о влиянии солнечного ультрафиолетового излучения на видовой состав в естественных экосистемах или на взаимодействие организмов между трофическими уровнями в этих экосистемах. Остается открытым вопрос о том, будет ли сокращение численности населения более чувствительных первичных производителей компенсировано увеличением численности популяции более толерантных видов и, следовательно, будет ли иметь место чистое негативное воздействие на поглощение атмосферного углекислого газа этими экосистемами. Другой вопрос заключается в том, окажет ли это существенное влияние на количество и качество питательных веществ, циркулирующих по пищевой сети, включая выработку пищевых белков для человека. Взаимодействие ультрафиолетового излучения с изменениями других факторов стресса, включая изменение климата и загрязняющие вещества, вероятно, будет особенно важным [5].

Ознакомившись еще с одной статьей, также подтвердилось пагубное влияние ультрафиолета на гидробионты. UV-B оказал значительное негативное воздействие на пресноводную биоту от молекулярно-клеточного до индивидуально-популяционного уровней. Однако эти эффекты были весьма вариабельны среди таксономических групп. В целом наиболее негативно пострадал зоопланктон, в то время как рыбы и амфибии пострадали меньше. Как прямые компоненты пригодности, выживание и размножение были наиболее подверженные воздействию среднего ультрафиолета. Чувствительность особей к ультрафиолетовому излучению на разных стадиях развития была различной для одного и того же таксона. Кроме того, было обнаружено влияние различных экспериментальных площадок, доз УФ-излучения и широты происхождения организма на воздействие УФ-излучения [6].

Результаты исследования в данной статье также свидетельствуют о том, что УФ-излучение оказывает значительное негативное воздействие на пресноводную биоту. Обнаружено, что эффекты UV-B варьировались в зависимости от таксономических групп, стадий развития, экспериментальных площадок, дозировок UV-B и широты происхождения организма. Различия в чувствительности между различными таксонами имеют важные последствия для реакции экосистем. Учитывая, что стратосферный озон вряд ли восстановится до уровня 1980-х годов в ближайшие десятилетия, следует предпринять дополнительные усилия по сохранению пресноводных местообитаний от дальнейшего повреждения УФ-излучением [6].

Воздействие ультрафиолетового излучения на *Daphnia*

Считается, что ультрафиолетовое излучение влияет на *Cladocera*, обитающие в водоемах на высоких высотах и высоких широтах. У них развивается черная пигментация, которая считается защитной. Действительно, воздействие ультрафиолетового излучения привело к повреждению кишечника у значительной части субарктических дафний. Zellmer et al. (2006) показали, что после воздействия сублетального солнечного УФ-излучения *D. pulex* страдает от повреждения кишечной системы, аналогичного повреждению, вызванному голоданием, хотя функция его пищеварения ферменты (амилаза и целлюлаза) не сильно изменяются [7].



Результаты Zellmer et al [9] показали, что ультрафиолетовое облучение повреждает кишечник дафний, препятствуя их способности усваивать питательные вещества. В результате недоедающие животные имели более низкую выживаемость и, хотя не были исследованы в своем исследовании, возможно, имели сниженную репродуктивную продуктивность и потомство с более низкой приспособленностью. В изучаемом исследовании вызванное ультрафиолетовым излучением недоедание может объяснить снижение репродуктивной продуктивности животных и дальнейшее снижение репродуктивной продуктивности [8]. В исследовании материнского обеспечения у *D. pulex*, La Montagne и McCauley также обнаружили, что при определенных обстоятельствах воздействие на родителей изменяло воспроизводство потомства [10]. В конечном счете совокупное воздействие на репродуктивную способность имеет большой потенциал для неблагоприятного воздействия на популяции таких организмов, как дафнии, которые имеют стратегию жизненного цикла, характеризующуюся ранней репродуктивной зрелостью и высокой плодовитостью.

Во внутренних северных умеренных районах, где лето характеризуется многими последовательными днями яркого солнечного света и где глобальное потепление, как ожидается, приведет к меньшему количеству осадков, что приведет к более мелким озерам и меньшему количеству облачных дней, водные животные будут подвергаться воздействию уровня УФ-излучения [11,12]. Короткоживущие животные, такие как дафнии, будут чаще подвергаться воздействию полного солнечного света и сопровождающего его высокого уровня УФ-излучения на протяжении всей своей жизни и в течение нескольких последовательных поколений. Основываясь на результатах этого исследования, которое продемонстрировало кумулятивное влияние на воспроизводство воздействия ультрафиолетового излучения в течение двух поколений, влияние повышенного воздействия УФ-излучения будет недооценено в исследованиях, ограниченных острым или кратковременным воздействием только в течение одного поколения [8].

Характеристика параметров плавательной активности *Daphnia magna* в нормальных условиях и под влиянием ближнего ультрафиолетового излучения при помощи технологии компьютерного зрения

Для исследования использовался анализатор «TrackTox». Контроль освещения осуществлялся светодиодной подсветкой с белыми светодиодами (6500 К) и светодиодная подсветка с УФ-светодиодами ($\lambda = 390\text{--}395$ нм). Контроль температуры поддерживался с помощью системы охлаждения на элементе Пельтье, вентиляторами для отвода тепла и распределения охлажденного воздуха, и контроллер температуры с цифровым индикаторным дисплеем.

Для получения результатов исследования мы проводим эксперимент с трехкратной повторностью для контрольной пробы, в которой поддерживаются комфортные для теста-объекта условия (освещение температура). Такую же повторность для опытной пробы, в которой фактором воздействия на тест-объект является ультрафиолетовое излучение. Для этого мы берём три особи *Daphnia magna*, которые выращиваются в климатостате, где температура составляет 20 ± 1 °С и освещенность 1000–1500 лк и сажаем ее в кювету, которую потом мы устанавливаем в анализатор «TrackTox». Далее мы даем дафниям время на акклиматизацию (15 минут) и начинаем контроль. Смотрим как дафнии себя чувствуют в нормальных условиях (то есть там сохранять такие же условия как в климатостате). После проведения контроля мы включаем в дополнение освещению светодиодную подсветку с УФ светодиодами, длина волны которых равна 395 нм и наблюдаем изменение в поведении плавания. Все данные регистрируются на компьютере, по которым далее будет проводиться анализ. Анализ данных и их статистическая обработка и осуществляется при помощи пакета программ Statistica.



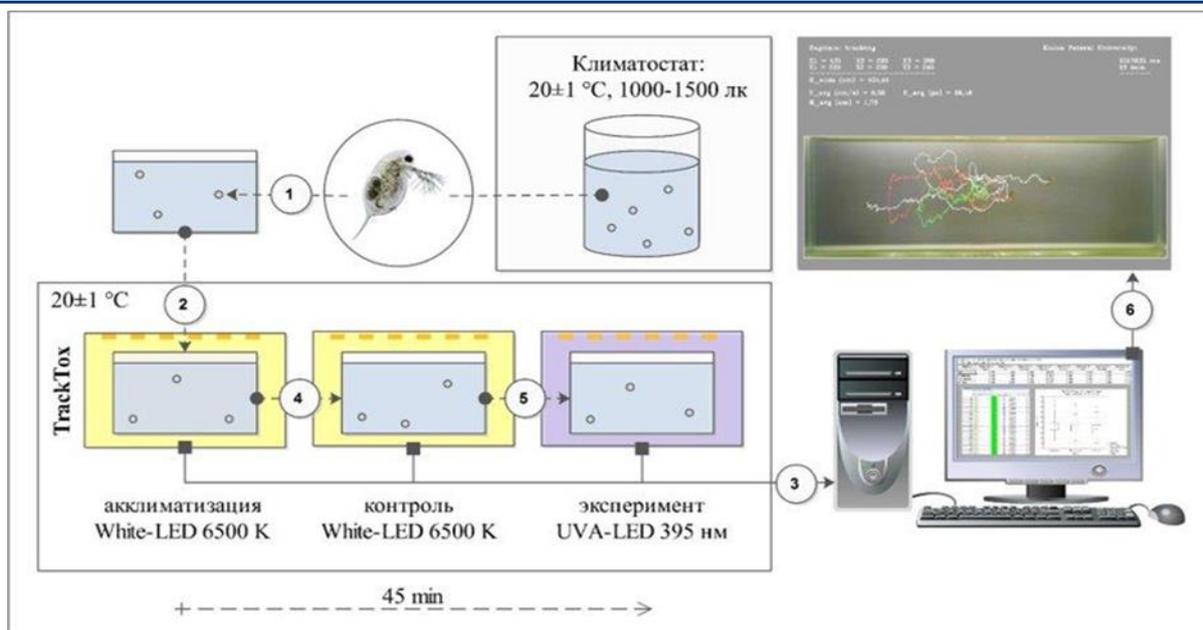


Рисунок 1. Схема проводимого эксперимента
Результаты исследования

В данной главе представлены результаты изменения плавательной активности дафний в контрольных условиях и под воздействием ультрафиолета ближнего спектра действия при естественных для теста-объекта условиях (освещение и температура).

Скорость плавания под влиянием ультрафиолетового излучения изменялась незначительно, статистически на 3%, в среднем составляя около 0.8 см/с.

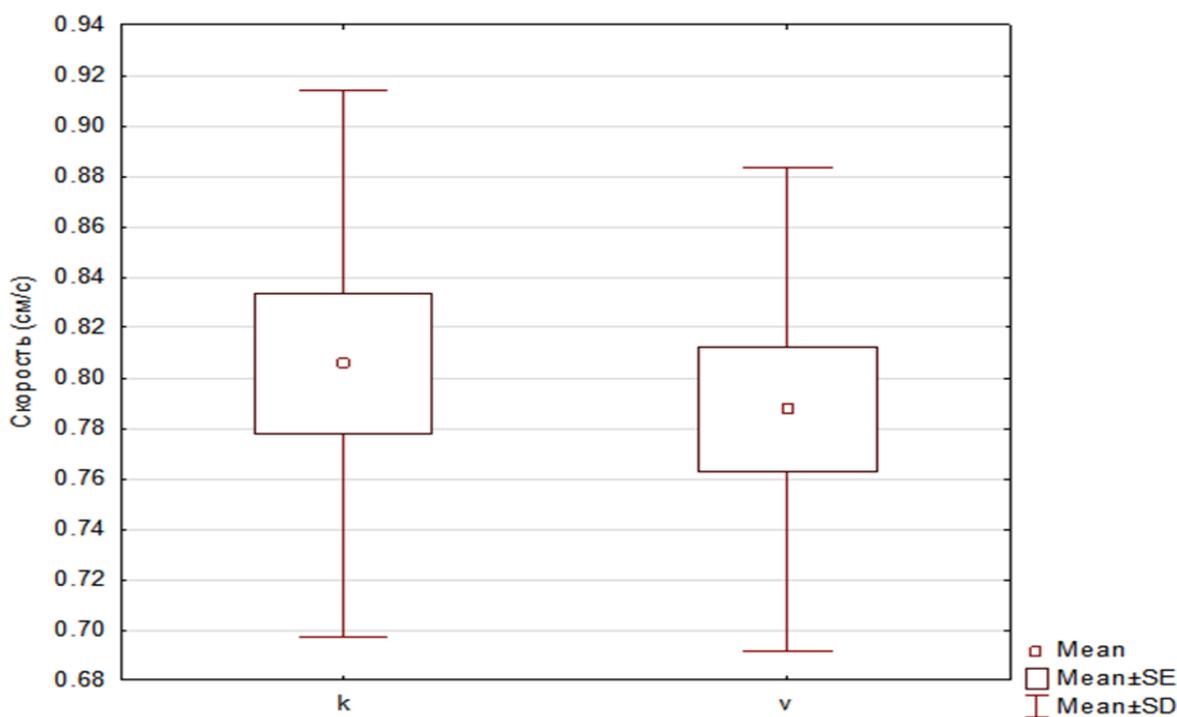


Рисунок 2. Различия скоростей плавания дафний в контрольных условиях (k) и под воздействием на них УФ излучения (v).



Таблица 1.

Результаты статической обработки данных по скорости плавания дафний

V-k	V-uv	t-value	df	p
0.81	0.79	0.48	28	0.63

Однако, тем не менее, пройденное расстояние дафниями в контрольной пробе отличается от этого же параметра, но в опытной пробе. В контроле дафнии проплывали 143 см, а под воздействием ультрафиолета на 20 см меньше, что говорит о явном влиянии ультрафиолетового излучения на плавательную активность.

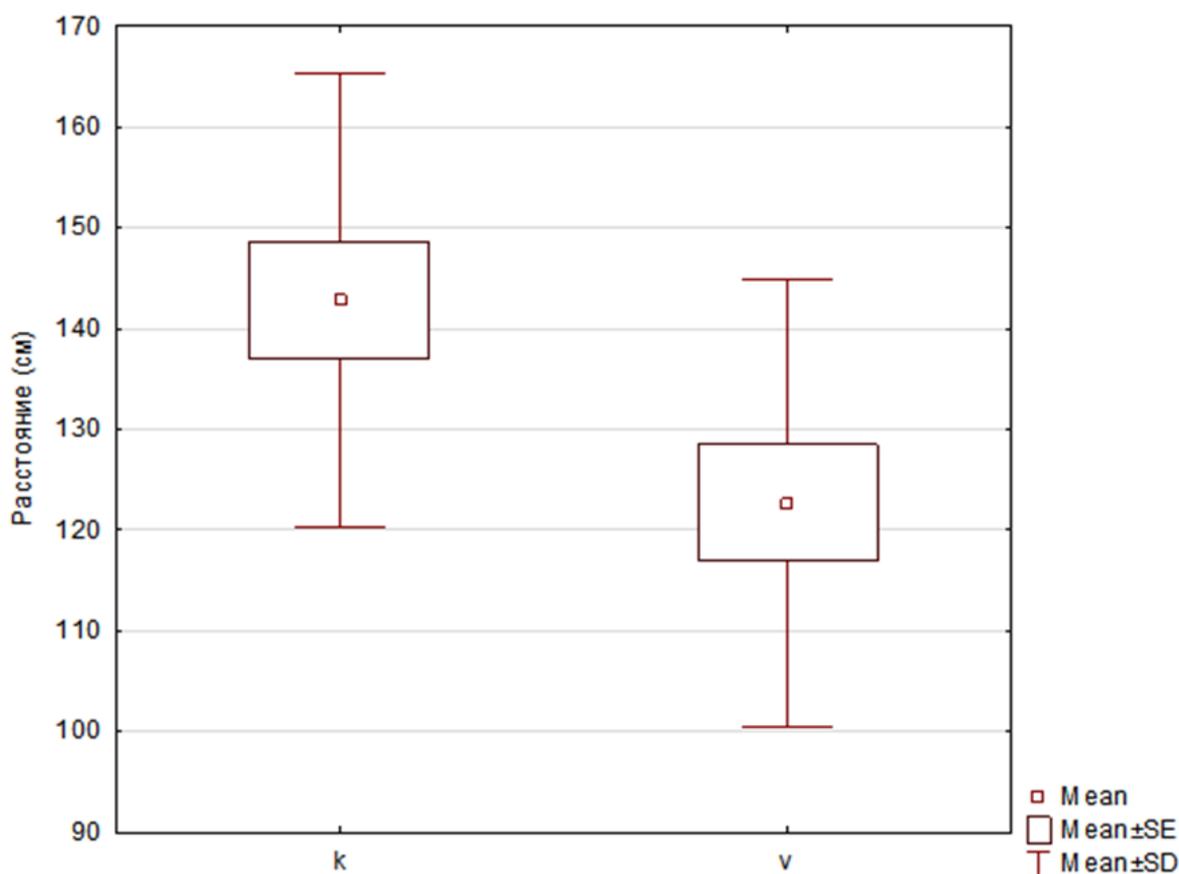


Рисунок 3. Различия в пройденном дафниями расстояниями в контрольной пробе (k) и в опытной пробе (v), то есть под воздействием на них ультрафиолетового излучения.

Таблица 2.

Результаты статической обработки данных по пройденному дафниями расстояниями в контрольной (LED) и опытной пробах (UV)

L-k	L-uv	t-value	df	p
142.82	122.75	2.45	28	0.02



Данный график нам говорит о том, что воздействие ближнего ультрафиолетового излучения вынуждает находиться дафнию ближе ко дну кювету, он проявляет избегающее поведение, что соответствует литературным источникам.

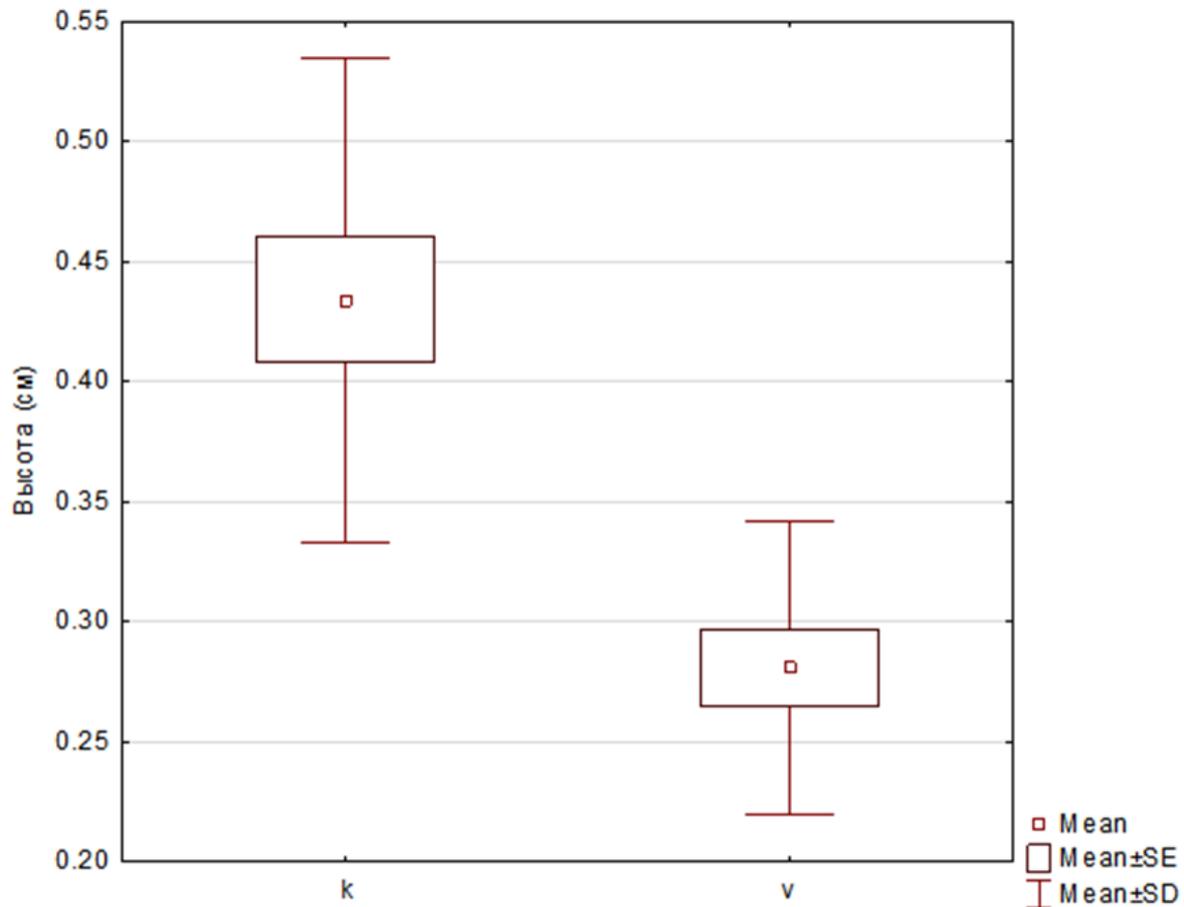


Рисунок 4. Различие высот плавания дафний в контрольной пробой (k) и опытной пробе (v).

Таблица 3.

Результаты статической обработки данных по высоте плавания дафний в контроле и в опыте

H-k	H-uv	t-value	df	p
0.43	0.28	5.03	28.00	0.00

Заключение

В ходе нашего исследования было установлено влияние ультрафиолета ближнего спектра действия (385 нм) на параметры двигательной активности (скорость плавания, пройденное расстояние и высоту плавания) *Daphnia magna* при минимальном времени воздействия.



Список литературы:

1. Рябцев А. Н. Ультрафиолетовое излучение //Физическая энциклопедия/Гл. ред. АМ Прохоров. –М: Большая Российская энциклопедия. – 1998. – Т. 5. – С. 221.
2. Ebert D. Ecology, epidemiology, and evolution of parasitism in *Daphnia*. – National Library of Medicine, 2005.
3. P. Taalas, J. Kaurola, A. Kylling, D. Shindell, R. Sausen, M. Dameris, V. Grewe and J. Herman, *Geophys. Res. Lett.*, 2000, 27, 1127–1130. 3 O. Siebeck, T. L. Vail, C. E. Williamson, R. Vetter, D. Hassen, H. Zagarese, E. Little, E. Balseiro, B. Modenutti, J. Seva and A. Shumate, *Adv. Limnol.*, 1994, 43, P. 101–114.
4. World Health Organization et al. Ultraviolet radiation: an authoritative scientific review of environmental and health effects of UV, with reference to global ozone layer depletion. – World Health Organization, 1994.
5. Häder D. P. et al. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change //Photochemical & Photobiological Sciences. – 2011. – Т. 10. – №. 2. – P. 242–260.
6. Peng S. et al. Effects of UVB radiation on freshwater biota: a meta-analysis. – 2017.
7. Smirnov, N. N. *Physiology of the Cladocera: Second Edition* / N. N. Smirnov. // Amsterdam: Elsevier Inc., – 2017. – P. 401.
8. Huebner J. D. et al. The effect of chronic exposure to artificial UVB radiation on the survival and reproduction of *Daphnia magna* across two generations //Photochemistry and photobiology. – 2009. – Т. 85. – №. 1. – P. 374–378.
9. Zellmer, I. D., M. T. Arts and V. Strus (2006) Food chain effects of sublethal ultraviolet radiation on subarctic *Daphnia pulex*– A field and laboratory study. *Arch. Hydrobiol.* 167, P. 515–531.
10. La Montagne, J. M. and E. McCauley (2001) Maternal effects in *Daphnia*: What mothers are telling their offspring, and do they listen? *Ecol. Lett.* 4, P. 64–71.
11. Williamson, C. E., G. Grad, H. J. DeLange and S. Gilroy (2002) Temperature-dependent ultraviolet responses in zooplankton: Implications of climate change. *Limnol. Oceanogr.* 47, P. 1844–1848.
12. Schindler, D. W., P. J. Curtis, B. R. Parker and M. P. Stainton (1996) Consequences of climate warming and lake acidification for UVB penetration in North American boreal lakes. *Nature* 379, P. 705–708.

