УДК 556.5+574.5

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *А* В РЕКЕ АМУР

А. С. Курносова (anna.vazhova@gmail.com)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)

Тихоокеанский филиал («ТИНРО»)
Россия, г. Владивосток, 690091, пер. Шевченко, 4

Курносова А. С. Пространственно-временная изменчивость концентрации хлорофилла *а* в реке Амур // Результаты Второй Амурской экспедиции. Т. 2 : Труды «СахНИРО». – Южно-Сахалинск : «СахНИРО», **2023.** – Т. 19, ч. II. – С. 146–154.

Выполнены исследования по сезонной изменчивости концентрации хлорофилла *а* на разных участках в среднем течении реки Амур. Показано, что максимальные концентрации хлорофилла *а* отмечены в весенний сезон вследствие интенсификации процесса фотосинтеза. Современное экологическое состояние в среднем течении реки Амур на основе концентрации хлорофилла *а* можно оценить как удовлетворительное.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хлорофилл *а*, река Амур, сезонная изменчивость.

Табл. – 1, ил. – 4, библиогр. – 17.

Kurnosova A. S. Spatio-temporal variability of chlorophyll *a* in the Amur River // Results of the Second Amur expedition. Vol. 2 : Transactions of the “SakhNIRO”. – Yuzhno-Sakhalinsk : “SakhNIRO”, **2023.** – Vol. 19, part II. – P. 146–154.

Studies have been carried out on the seasonal variability of chlorophyll *a* concentration in different areas in the middle reaches of the Amur River. It was shown that the maximum concentrations of chlorophyll *a* were observed in the spring season due to the intensification of the photosynthesis process. The current ecological state in the middle reaches of the Amur River, based on the concentration of chlorophyll *a*, can be assessed as satisfactory.

KEYWORDS: chlorophyll *a*, Amur River, seasonal variability.

Tabl. – 1, fig. – 4, ref. – 17.

ВВЕДЕНИЕ

Важной составной частью экологических исследований являются изучение структуры и функционирования водных экосистем, оценка их экологического состояния, определение трофического статуса водного объекта и качества воды, изменяющихся под влиянием природных и антропогенных

факторов. Одна из наиболее крупных рек России – Амур – пересекает несколько природных зон и испытывает воздействие многих антропогенных факторов (**Никаноров и др., 2013**). Это обусловливает важность мониторинга и изучения состояния реки для разработки мероприятий, препятствующих ее загрязнению и эвтрофированию. Среди зеленых пигментов предпочтение отдается хлорофиллу *a*, поскольку по его концентрации оценивают степень развития водорослей, их биомассу, ассимиляционную активность, косвенно первичную продукцию, судят об уровне нагрузки биогенными элементами водных объектов в целом.

Содержание хлорофилла *a* – интегральный и доступный параметр для получения сведений об уровне развития, пространственно-временном распределении фитопланктона и эколого-санитарных характеристиках воды, который составляет основу их трофической и рыбохозяйственной классификации (**Винберг, 1960; Бульон, 1983; Котовщиков, Кириллова, 2008**). В реках на все жизненные процессы влияет водный режим, а изменения во времени расходов, уровней и объемов воды в водотоках влекут за собой и изменения скоростей течения, мутности, температуры и химического состава воды (**Жадин, 1950**).

Изменения водности реки Амур обусловливает в том числе и необходимость мониторинга состояния экосистем, в частности первичного звена – фитопланктона. На равнинных участках р. Амур основное количество первичной продукции создается за счет фотосинтетической активности фитопланктона, о которой можно судить по содержанию хлорофилла *a* (**Сиротский, 1991; Богатов, 1994**).

Цели данной работы – определить пространственно-временную изменчивость концентрации хлорофилла *a* в реке Амур и оценить качество воды по его содержанию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Работы по отбору проб для анализа концентрации хлорофилла *a* выполнялись в весенний, летний и осенний сезоны 2018 г. на нескольких участках в среднем течении реки Амур (**рис. 1**). Первый участок отбора проб (ст. 1) был расположен вблизи г. Благовещенска (район строительства автодорожного моста Благовещенск – Хэйхэ), второй участок (ст. 2) – вблизи с. Нижнеленинское (район строительства железнодорожного моста Нижнеленинское – Тунцзян) и третий участок отбора проб (ст. 3) был расположен вблизи г. Хабаровска (Амурская и Тунгусская протоки) и в 50 км ниже по течению реки. В основном пробы отбирались с прибрежной зоны и на фарватере реки. На каждом участке было отобрано по одной-шесть проб (всего 41).

Отбор проб воды для анализа на содержание хлорофилла *a* производился с поверхностного горизонта. Пробы воды разливались в полиэтиленовые емкости объемом 1,0 л. Транспортировались в лабораторию для дальнейших исследований в холодильных ящиках при температуре не выше +4°С. Для приготовления экстракта пробу воды объемом 0,2–0,5 л около 60 минут фильтровали через стекловолоконный фильтр “Whatman” GF/F (диаметр 47 мм) с нанесенным на него слоем углекислого бария. При этом воронки на фильтровальной установке закрывали фольгой для ограничения доступа солнечного света, который может влиять на результаты анализа.

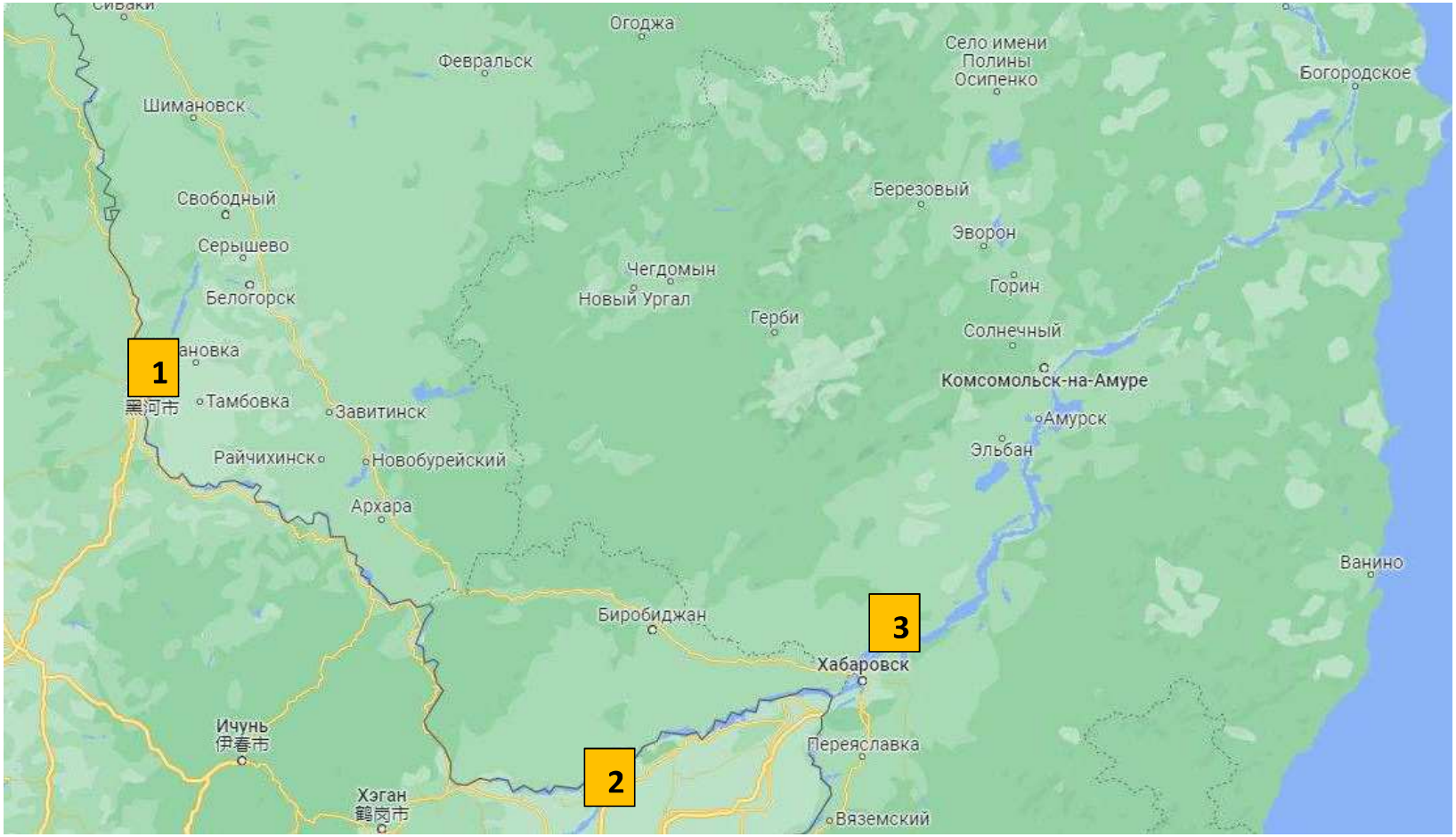

Рис. 1. *Карта-схема участков отбора проб в среднем течении р. Амур (1 – г. Благовещенск, 2 – с. Нижнеленинское, 3 – г. Хабаровск)*
Fig. 1. *Map of sampling in the middle reaches of the Amur River (1 – Blagoveshchensk, 2 – Nizhneleninskoye, 3 – Khabarovsk)*

Стандартный спектрофотометрический метод основан на анализе спектров поглощения экстракта хлорофилла *a* в 90%-ном ацетоне до и после его подкисления раствором соляной кислоты (**Кобленц-Мишке, 1983; SCOR-Unesco, 1966**). Пигменты фитопланктона из осадка на слое углекислого бария экстрагировали водным ацетоном и удаляли центрифугированием при 8 000 об./мин. из экстракта светорассеивающую взвесь. Точность этого метода зависит от абсолютной величины концентрации хлорофилла *a* (**Ведерников и др., 1973**). Концентрация хлорофилла *a* определялась по оптическим плотностям экстракта, измеренным на трех длинах волн (длина кюветы 1 см) на спектрофотометре Shimadzu UV1800, по формуле Джеффри–Хамфри (**Jeffrey, Humphrey, 1975**), приведенной в (**ГОСТ 17.1.4.02-90**):

$$c_{хл.\ a}=(11.85D_{664}-1.54D_{647}-0.08D_{630})*\frac{V_{экстр}}{V_{ф}}.$$

Характерное вертикальное распределение температуры и концентрации хлорофилла *a* получено с помощью гидрологического зонда RINKO.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных исследований значения концентрации хлорофилла *a* в разные сезоны 2018 г. на исследованных станциях в бассейне р. Амур колебались в широких пределах – от 1,6 до 18,74 мг/дм^3 (**табл.**). Минимальные значения были зафиксированы в июне в районе ст. 1 (на фарватере), максимальные значения наблюдались в мае в районе ст. 3 (Амурская протока).

В среднем (**рис. 2**) самые высокие значения концентрации хлорофилла *a* наблюдались в мае с плавным снижением к осени на всех исследованных участках в среднем течении р. Амур. Так, весной в период интенсификации процессов фотосинтеза на ст. 1 в прибрежной зоне концентрация достигала величины 11,42 мг/дм^3, выше по течению реки содержание хлорофилла *a* также было высоким – 7,85 мг/дм^3. На ст. 2 концентрация хлорофилла *a* достигала максимальных величин за весь исследованный период – 12,01–13,99 мг/дм^3, и в среднем составляла 13,02 мг/дм^3. На ст. 3 весной пробы отбирались только в Амурской протоке, концентрация хлорофилла *a* на прибрежной станции была максимальной за весь период исследования – 18,74 мг/м^3. В целом, в весенний сезон распределение хлорофилла *a* на исследованных станциях было практически однородным, а его высокие концентрации связаны с активным поступлением биогенных веществ с водосборной территории и постепенным увеличением температуры воды в весенний период, что способствует активному цветению фитопланктона и, соответственно, повышению содержания в воде хлорофилла *a*.

Таблица

Диапазон измеренных параметров в среднем течении р. Амур в 2018 г.

Table

Range of measured parameters in the middle reaches of the Amur River in 2018

Дата	Хлорофилл *a*, мг/дм^3 *min–max* *M* (*n*)	Температура, °С *min–max* *M* (*n*)
Ст. 1 (г. Благовещенск)		
11.05	7,8–11,4	12,6–12,9
	9,6 (2)	12,7 (2)
11.06	1,6–5,5	19,9–25,6
	3,0 (5)	21,5 (5)
11.07	1,9–3,9	19,4–21,3
	2,9 (5)	19,9 (5)
Ст. 2 (с. Нижнеленинское)		
10.05	12,0–14,0	11,6–12,6
	13,0 (4)	11,9 (4)
01.06	4,4–9,5	19,1–20,0
	7,2 (4)	19,5 (4)
11.07	6,4–7,9	21,2–21,4
	7,2 (4)	21,3 (4)
04.09	3,1–5,4	20,1–20,4
	4,0 (4)	20,2 (4)
Ст. 3 (г. Хабаровск)		
10.05	18,7	12,3
	–	–
05.06	7,1–8,7	20,3–22,3
	7,9 (6)	21,0 (6)
10.10	4,5–8,7	9,7–12,6
	6,5 (6)	11,6 (6)

Примечание: *min–max – минимальные и максимальные значения; M (n) – средние значения, где n – количество проб.*

Значения концентрации в летний период на ст. 1 находились в пределах 1,60–5,46 мг/м^3. В распределении содержания хлорофилла *a* на исследованном участке была отмечена неоднородность. Так, в июне выше моста у берега и на фарватере концентрация хлорофилла *a* была немного выше (5,46–3,35 мг/м^3), чем на станциях, расположенных ниже объекта (1,60–2,84 мг/м^3). Неоднородность распределения содержания хлорофилла *a* на исследованных станциях, вероятно, связана с увеличением концентрации взвешенных веществ ниже по течению от моста. Увеличение мутности снижает поступление солнечной радиации в верхний фотический слой, где происходит процесс фотосинтеза (**Винберг, 1960; Богатов, 1994**). При этом весь слой до дна на каждой станции характеризовался однородным содержанием хлорофилла *a* (**рис. 3**). В июле с увеличением водности (**рис. 4**) содержание хлорофилла *a* на исследованных станциях стало более однородным (1,92–3,92 мг/м^3) вследствие увеличения скорости сноса взвешенных частиц и, соответственно, снижения мутности воды.

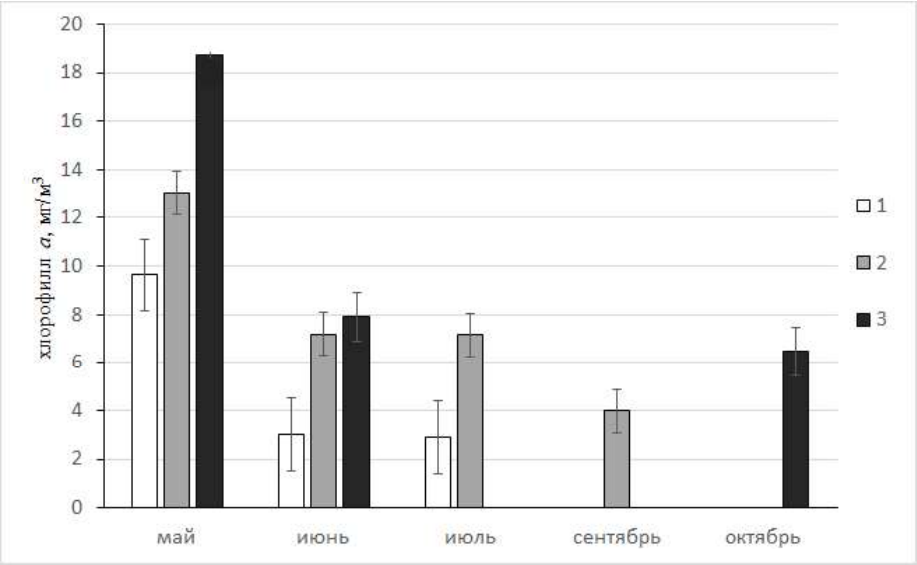

Рис. 2. *Средние значения концентрации хлорофилла а на каждом исследованном участке в среднем течении р. Амур на станциях Благовещенск (1), Нижнеленинское (2), Хабаровск (3)*

Fig. 2. *Average values of chlorophyll a concentration at each site in the middle reaches of the Amur River at the stations Blagoveshchensk (1), Nizhneleninskoye (2), Khabarovsk (3)*

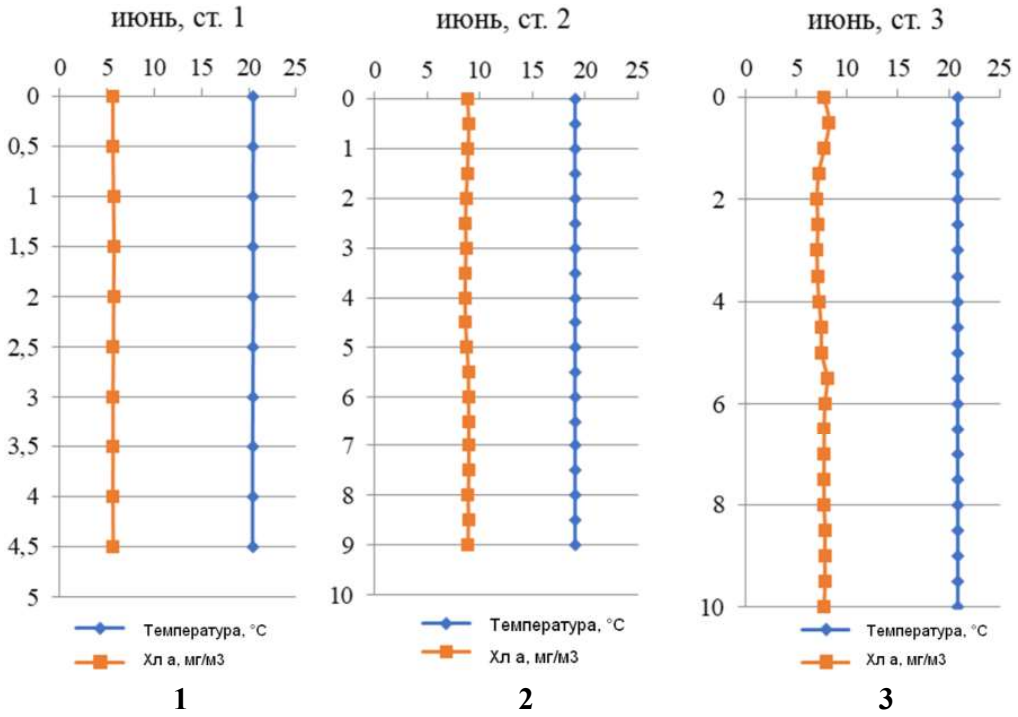

Рис. 3. *Характерное вертикальное распределение хлорофилла а (мг/м³) и температуры (°С) на фарватере в среднем течении р. Амур на станциях Благовещенск (1), Нижнеленинское (2) и Хабаровск (3)*

Fig. 3. *Typical vertical distribution of chlorophyll a (mg/m³) and temperature (°C) on the fairway in the middle reaches of the Amur River at the stations Blagoveshchensk (1), Nizhneleninskoye (2), Khabarovsk (3)*

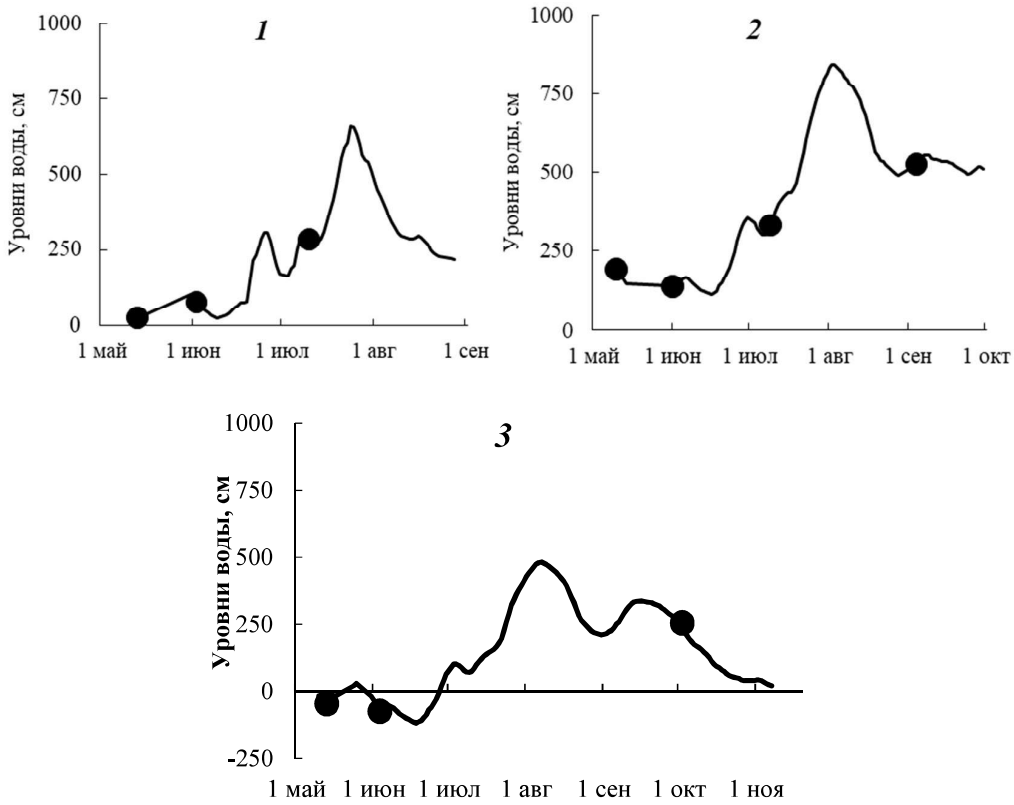

Рис. 4. *Уровни воды (см) на пунктах наблюдения: 1 – г. Благовещенск, 2 – с. Нижнеленинское, 3 – г. Хабаровск). Точками отмечены уровни воды в период отбора проб*

Fig. 4. *Water levels (cm) at observation points: 1 – Blagoveshchensk, 2 – Nizhneleninskoe, 3 – Khabarovsk). The dots indicate water levels during the sampling period*

На ст. 2 в летний период значения концентрации хлорофилла *a* находились в пределах 4,37–9,48 мг/м^3, и также, как и на первом участке, в его распределении отмечена неоднородность. Так, в июне выше моста у берега и на фарватере концентрация хлорофилла *a* была больше (8,42–9,48 мг/м^3), чем на станциях, расположенных ниже (4,37–6,45 мг/м^3). При этом весь слой до дна на каждой станции характеризовался однородным содержанием хлорофилла *a* (***см.*** **рис. 3**). В июле, с увеличением водности реки (***см.*** **рис. 4**), содержание хлорофилла *a* на исследованных станциях стало более однородным (6,41–7,93 мг/м^3), по-видимому, по той же причине – из-за увеличения скорости сноса взвешенных частиц и, соответственно, снижения мутности.

Значения концентрации на ст. 3 в летний период находились в пределах 7,08–8,70 мг/м^3. При этом весь слой до дна характеризовался однородным содержанием хлорофилла *a* (***см.*** **рис. 3**). Вдоль сечения реки хлорофилл *a* на исследованном участке был распределен довольно равномерно: так, на фарватере в летний период концентрация хлорофилла *a* составляла 8,29–8,70 мг/м^3, а у берегов – 7,48–7,96 мг/м^3. Это может быть связано с поступлением биогенных веществ в русло реки от источников, расположенных выше по течению (**Шестеркин, Шестеркина, 2012; Платонова и др., 2014**).

В осенний период отмечается общее снижение содержания хлорофилла *a* в пробах воды с поверхности на всех исследованных станциях. Так, на ст. 2 в области выше моста концентрация в среднем составляла 3,1 мг/м^3, на станциях, расположенных ниже моста, варьировалась от 4,42 до 5,38 мг/м^3. На ст. 3 сохранился летний характер распределения с общим снижением концентрации хлорофилла *a*. Так, на фарватере на ст. 3 осенью концентрация хлорофилла *a* составляла 6,75–6,79 мг/м^3, а у берегов – 5,98–6,91 мг/м^3. При этом отмечено небольшое снижение величин концентрации в осенний сезон по сравнению с летним, что согласуется с сезонными гидрологическими характеристиками реки, а именно – снижением температуры и паводковым режимом (***см.* рис. 4**).

Содержание хлорофилла *a* в районе ст. 3 в протоках Тунгусская и Амурская различалось в исследованный период. В протоке Тунгусская содержание хлорофилла *a* в летний период составило 7,08 мг/м^3, в осенний – 8,74 мг/м^3, а на станции, расположенной в Амурской протоке, в летний период – 8,11 мг/м^3, в осенний – 4,51 мг/м^3. Различие в концентрациях в осенний сезон в исследованных протоках, вероятно, связано с разной скоростью течения реки, поскольку при более медленном течении процессы фотосинтеза проходят интенсивнее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показали, что сезонное распределение хлорофилла *a* на разных участках в среднем течении реки Амур согласуется с сезонными гидрологическими характеристиками и характеризуется следующими особенностями:

– высокие концентрации хлорофилла *a* отмечены в весенний сезон и связаны с активным поступлением биогенных веществ с водосборной территории и постепенным прогревом речных вод, что способствует интенсификации процесса фотосинтеза;

– максимальные значения хлорофилла *a* отмечены в весенний период в Амурской протоке с относительно слабым течением.

Полученные значения хлорофилла *a* в поверхностном слое реки на исследованных участках в целом согласуются с литературными данными (**Bogatov et al., 1995; Яворская, 2017**). Содержание хлорофилла *a* сопоставимо со значениями, полученными для других рек Дальнего Востока (**Богатов, 1994; Сиротский, Медведев, 1996; Яворская, 2017**). Современное экологическое состояние на исследованных участках в среднем течении реки Амур на основе концентрации хлорофилла *a* можно оценить как удовлетворительное.

ЛИТЕРАТУРА

Богатов В. В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. – Владивосток : Дальнаука, **1994.** – 218 с.

Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. – Л. : Наука, **1983.** – 150 с.

Ведерников В. И., Коновалов Б. В., Кобленц Мишке О. И. Результаты применения спектрофотометрического метода определения феофитина *a* в пробах морской воды // Тр. ИО АН СССР. – **1973.** – Т. 95. – С. 138–146.

Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. – Минск : Изд-во АН БССР, **1960.** – 329 с.

ГОСТ 17.1.04.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. Государственный стандарт Союза ССР. – М. : Изд-во стандартов, **1990.** – 14 с.

Жадин В. И. Жизнь в реках // Жизнь пресных вод СССР. – М.–Л. : Изд-во АН СССР, **1950.** – С. 113–256.

Кобленц-Мишке О. И. Экстрактный и безэкстрактный методы определения фотосинтетических пигментов в пробе // Совр. методы количественной оценки распред. мор. планктона. – М. : Наука, **1983.** – С. 114–125.

Котовщиков А. В., Кириллова Т. В. Сезонная динамика пигментных характеристик фитопланктона разнотипных рек бассейна Верхней Оби // Проблемы рег. экологии. – **2008.** – № 6. – С. 72–77.

Никаноров А. М., Брызгало В. А., Решетняк О. С. и др. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Амур // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. – **2013.** – №. 5. – С. 15–26.

Платонова Т. П., Пакусина А. П., Лобарев С. А., Черноситова Т. Н. Динамика содержания биогенных элементов в малых реках – левобережных притоках Амура // Естественные и технические науки. – **2014.** – № 6. – С. 82–86.

Сиротский С. Е. Первичная продукция и деструкция органического вещества бассейна Нижнего Амура : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Киев, **1991.** – 26 с.

Сиротский С. Е., Медведева Л. А. Пигментные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока // Биогеохим. и экол. исслед. природ. и техногенных экосистем Дальнего Востока. – Владивосток : Дальнаука, **1996.** – С. 86–96.

Шестеркин В. П., Шестеркина Н. М. Пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды среднего Амура // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. – **2012.** – № 5. – С. 19–28.

Яворская Н. М. Содержание фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона протоки Амурской (Хабаровский край) // Рег. проблемы. – **2017.** – Т. 20, № 1. – С. 5–10.

Bogatov V., Sirotsky S., Yuriev D. The ecosystem of the Amur River // Ecosystems of the World. River and tream ecosystems. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo : Elsevier, **1995.** – Vol. 22. – P. 601–613.

Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New Spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochemie und Physiologie der Pflanzen. – **1975.** – Vol. 167. – P. 191–194.

SCOR-Unesco Working Group No. 17. Determination of photosynthetic pigments in seawater // Monographs on Oceanologic Methodology. – Paris, **1966.** – P. 9–18.