

СОДЕРЖАНИЕ СЕСТОНА И ХЛОРОФИЛЛА В РЕКАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

*А.А. Жукова**, *О.С. Сулимова**, *Б.В. Адамович***

**Белорусский государственный университет, г. Минск,
e-mail: anna_eco@tut.by*

***РУП «Институт рыбного хозяйства»,
220024, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Стебенева, 22,
e-mail: belniirh@tut.by*

CONTENT OF SESTON AND CHLOROPHYLL IN THE RIVERS OF NORTH-WEST OF BELARUS

*H.A. Zhukava**, *O.S. Sulimova**, *B.V. Adamovich***

**Belarusian State University, Minsk,
e-mail: anna_eco@tut.by*

***RUE "Fish industry institute",
220024, Stebeneva str., 22, Minsk, Republic of Belarus,
e-mail: belniirh@tut.by*

Резюме. В ходе двухлетнего цикла исследований была проведена оценка содержания сестона и хлорофилла в крупных и малых водотоках северо-запада Беларуси, относящихся к бассейну Балтийского моря. Сопоставлена сезонная динамика изученных показателей, рассчитано удельное содержание хлорофилла в сестоне и фитопланктоне. Исходя из полученных данных, р Вилия относится к категории эвтрофных вод, остальных реки характеризуются преимущественно как мезотрофные водотоки.

Ключевые слова: реки, сестон, хлорофилл, сезонная динамика, биомасса фитопланктона.

Abstract. In the course of two year investigation cycle there was estimated the content of seston and chlorophyll in large and small stream flows in North-West of Belarus related to the Baltic Sea basin. There was compared seasonal dynamics of the indicators studied, calculated specific chlorophyll content in seston and phytoplankton. Taking into account the data obtained the river Vilia is classified as eutrophic waters whereas other rivers pertain predominantly to mesotrophic stream flows.

Key words: rivers, seston, chlorophyll, seasonal dynamics, phytoplankton biomass.

Введение

Одним из основных природных богатств Беларуси является большое количество водных объектов. Комплексное использование ресурсов внутренних водоемов и водотоков, бурное развитие промышленности и сельского хозяйства приводят к загрязнению большинства водных экосистем и способствуют сокращению пресноводного стока водотоков. При этом происходит изменение гидрохимического и санитарно-гигиенического режимов, изменяется степень эвтрофирования, нарушается структура биологических сообществ [1].

Актуальной задачей нашего времени является сохранение природно-ресурсных возможностей водных объектов Беларуси и оперативная оценка их текущего экологического состояния. Для решения последней задачи в гидробиологической практике широко применяют такие показатели, как содержание сестона и хлорофилла.

Сестон по своей природе является чрезвычайно гетерогенным образованием, включающим взвешенные в толще воды живые организмы, их остатки и другие прижизненные выделения и отторжения (фекалии, экзувии и т.д.), а также разнообразные минеральные и органические частицы (образующиеся в результате физико-химических процессов в толще воды, ресуспендируемые из донных отложений, поступающие различными путями с водосбора) [2]. Концентрация сестона в воде влияет на прозрачность и проникновение света, температурный режим, адсорбцию токсичных веществ и скорость осадкообразования [3].

Содержание основного пигмента зеленых растений – хлорофилла-*a* (и продуктов его распада) – считается универсальным эколого-физиологическим показателем фитопланктона [4] и широко используется для оценки его обилия [5]. Именно этот показатель часто лежит в основе шкал, разработанных для оценки трофического статуса водоемов [6]. Кроме того, в природных водах фитопланктон является важной компонентой в составе сестона, составляя в среднем 10-21 %, а летом, в период интенсивного развития водорослей, достигая еще более высоких величин (особенно в высокотрофных водах). Доля

фитопланктона в сестоне – достаточно вариабельный показатель, меняющийся в зависимости от трофического статуса экосистемы, сезонных условий, гидродинамики водных масс и ресуспензии, и других факторов среды [7].

Следует отметить, что в качестве интегральных характеристик качества природных вод, данные о концентрации сестона и хлорофилла в отечественной гидробиологии используются крайне редко, хотя накопленный в мировой практике опыт указывает на их большую индикационную ценность. Изменения в содержании сестона и хлорофилла во времени и пространстве позволяют судить об интенсивности продукционно-деструкционных процессов в водной экосистеме, а также ее устойчивости и способности к самоочищению.

Материал и методы

Исследования содержания сестона и хлорофилла были проведены на примере крупных (Западная Двина, Виляя), средней (Дисна) и малых рек (Уша, Смердия, Цна, Голбица, Нача, Нежлевка), расположенных на северо-западе Беларуси и относящихся к бассейну Балтийского моря (рис. 1). К категории малых рек относили водотоки, длиной менее 100 км [8].



Рисунок 1 – Местоположение станций отбора проб на реках Виляя, Западная Двина и их притоках

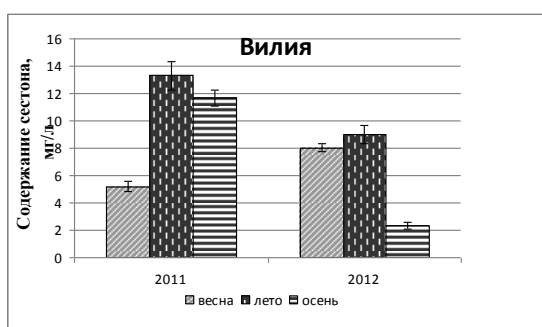
Материал собирали в 2011-2012 гг. в разные периоды вегетационного сезона (весной, летом, осенью). Отбор проб воды проводили с

подповерхностного горизонта (р. Дисна, малые реки), в рр. Вилия и Зап. Двина использовали трубу Ляхновича-Щербакова, позволяющую «вырезать» верхний метровый слой воды. На реках Вилия и Зап. Двина было заложено 5 и 7 створов соответственно, на р. Дисна – 3, на малых реках – по 1-2 створа на каждой.

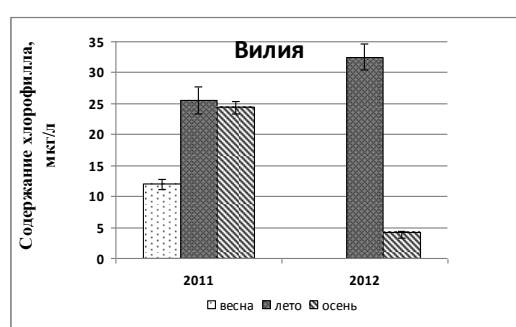
Содержание взвешенных веществ в воде определяли гравиметрически, путем фильтрации проб воды через ядерные фильтры (с диаметром пор 1 мкм) и последующим их высушиванием до постоянной массы при 70 °С. Определения проводили в 3-6 повторностях для каждой пробы. Содержание хлорофилла определяли по спектрофотометрической методике с экстракцией пигментов в 90 % ацетоне [7] с учетом вклада феопигментов [8, 9]. В тексте статьи приведены значения суммарного хлорофилла-*a* (без учета вклада феопигментов в светопоглощение). В тех же образцах воды на каждом створе часть пробы фиксировали раствором Утермеля и определяли биомассу фитопланктона счетно-объемным методом. Также было рассчитано удельное содержание хлорофилла в сестоне и водорослевой биомассе. Статистическую обработку данных проводили при помощи программ *MS Excel* и *Statistica 8.0*.

Результаты и их обсуждение

Полученные нами данные позволили проследить сезонную динамику содержания сестона и хлорофилла в реках на протяжении двух лет. На графиках ниже приведены по сезонам усредненные данные для всех исследованных створов на рр. Вилия (рис. 2) и Зап. Двина (рис. 3).

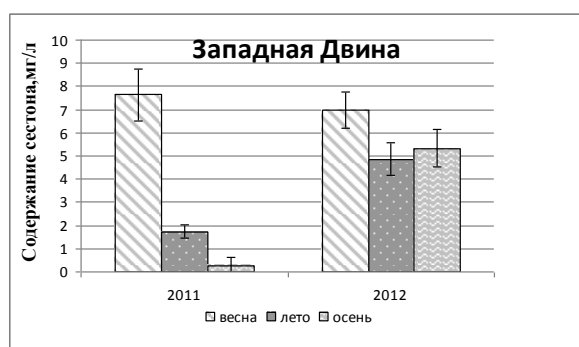


А)



В)

Рисунок 2 – Содержание сестона (А) и хлорофилла (В) в р. Вилия (здесь и на рис. 3-5 приведены средние значения ± стандартное отклонение)



А)



В)

Рисунок 3 – Содержание сестона (А) и хлорофилла (В) в р. Зап. Двина

Из рисунков 2-3 видно, что содержание сестона в крупных реках различается: в воде р. Виляя взвеси в среднем вдвое больше, чем в Зап. Двине. Максимальные величины сестона в р. Виляя отмечены летом, как в 2011 г. (13 мг/л), так и в 2012 г. (около 9 мг/л), к осени содержание сестона снижается. В р. Зап. Двина содержание сестона, в отличие от Вилии, достигает максимума (7 мг/л) весной как в 2011, так и в 2012 гг. Это, вероятнее всего, связано с гидродинамикой водотока и поступлением взвешенных веществ с водосбора и/или их ресуспензией из донных отложений. Как следует из рисунка 2В, фитопланктон не является причиной увеличения концентрации сестона в р. Зап. Двина в весеннее время, т.к. в 2011 г. выраженных сезонных изменений содержания хлорофилла в воде не наблюдали, а в 2012 г. максимальные значения отмечены летом.

В р. Виляя, напротив, сезонные тренды изменения содержания сестона и хлорофилла более схожи: максимум содержания хлорофилла в оба года приходится на лето, осенью наблюдается спад, особенно заметный в 2012 г. Различия по содержанию хлорофилла между реками еще более выражены, чем по сестону: максимальные величины различаются почти в 5 раз (33 мкг/л в р. Виляя и 7 мкг/л для р. Зап. Двина). Также можно отметить, что р. Зап. Двина имеет больший размах колебаний между створами как по содержанию сестона, так и по хлорофиллу, вода в р. Виляя по этим двум показателям более однородна.

Для сравнения на рисунке 4 представлены данные по содержанию хлорофилла и сестона в р. Дисна, которая относится к категории средних рек.

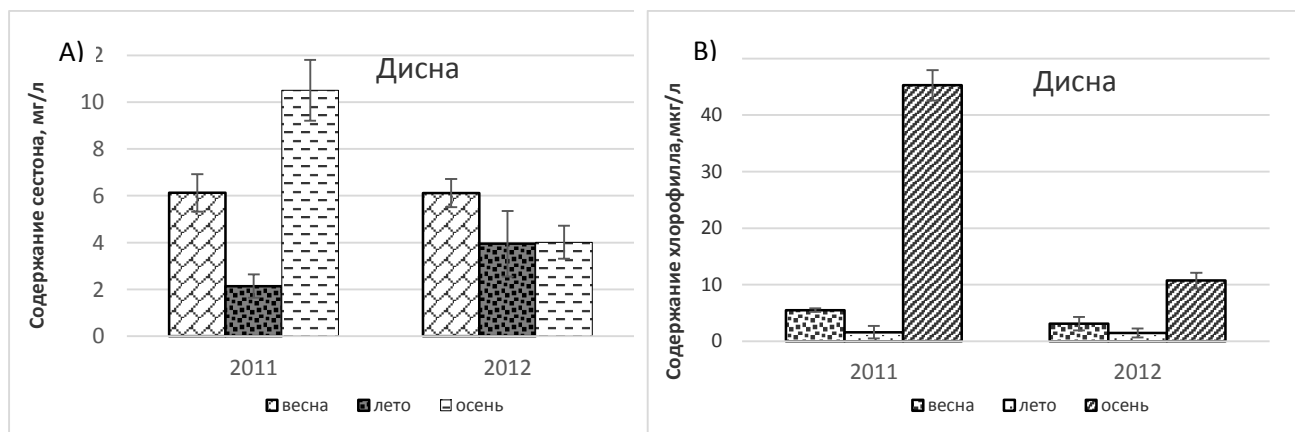


Рисунок 4 –Содержание сестона (А) и хлорофилла (В) в р. Дисна

В отличие от крупных рек, сезонная динамика содержания сестона в р. Дисна имеет разный ход по годам. При этом, весенний подъем, как и в р. Зап. Двина (притоком которой она является), обусловлен физическими процессами, а максимальное содержание осенью 2011 г. (более 10 мг/л) с большой долей вероятности обусловлено резкой вспышкой в развитии фитопланктона (см. рис. 4В), когда концентрация хлорофилла в 4 раза превысила максимальные для 2012 г. значения и была на порядок больше весенне-летних величин. Минимальное содержание хлорофилла в р. Дисна наблюдали летом, причем и в 2011 и в 2012 гг. оно было примерно одинаковым (около 3 мкг/л). В целом, в отличие от сестона, сезонный ход содержания хлорофилла в воде р. Дисна был одинаковым в оба года исследований.

В отличие от крупных рек, в малых водотоках картина несколько иная и, в целом, более сходна с таковой в р. Дисна. Ввиду того, что при сравнении проб, отобранных во время одного выезда, существенных различий по содержанию сестона и хлорофилла в малых реках не обнаружено, на рисунке 5 приведены усредненные данные для всех обследованных водотоков этой категории.

При небольшом размахе данных внутри сезона, обращает на себя внимание разный ход содержания сестона и хлорофилла в 2011 и 2012 гг. и

несовпадение их сезонной динамики. В целом, в малых водотоках содержание сестона занимало промежуточное положение в сравнении с рр. Вилия и Зап. Двина: минимальные значения наблюдали летом 2011 г. (4 мкг/л), максимум отмечен осенью 2011 г. (14 мкг/л), в 2012 г. сезонные различия были выражены менее четко.



Рисунок 5 – Содержание сестона (А) и хлорофилла (Б) в малых реках

Содержание хлорофилла в малых реках также оказалось в среднем меньше, чем в р. Вилия, но выше, чем в р. Зап. Двина. При этом минимальные значения, как и для сестона, зафиксированы летом 2011 г. (около 3 мг/л), осенью в оба года происходит существенное возрастание содержания хлорофилла (до 20-23 мкг/л).

Так как содержание хлорофилла может применяться для оценки обилия фитопланктона, мы предприняли попытку сопоставить данные прямого визуального подсчета биомассы водорослей и значений, рассчитанных по концентрации хлорофилла. При расчетах исходили из литературных сведений, что в сырой массе водорослей содержится в среднем 0,3 % хлорофилла [5]. В таблице приведены результаты определения биомассы водорослей двумя способами, а также расчет удельного содержания хлорофилла в сестоне и фитопланктоне.

В общем можно отметить, что расчетные значения биомассы фитопланктона в среднем в 1,5 раза выше полученных при прямом визуальном

подсчете данных. Значения удельного содержания хлорофилла в водорослевой биомассе оказались достаточно высокими, составив в среднем ($\pm Sd$) $0,79 \pm 0,60\%$ (из расчетов исключено аномально высокое значение $6,48\%$). Удельное содержание хлорофилла в сестоне, напротив, было типичным для водоемов и водотоков умеренной зоны – $0,19 \pm 0,16\%$. Медианные значения этих показателей оказались несколько ниже – соответственно $0,61$ и $0,15\%$.

Таблица 1 – Биомасса фитопланктона (прямой учет и расчет по хлорофиллу), удельное содержания хлорофилла в сестоне и фитопланктоне

Река	Год	Сезон	Биомасса фитопланктона, мг/л		Доля хлорофилла, %	
			прямой подсчет	расчёт по хлорофиллу	в сырой массе водорослей	в сестоне
Виляя	2011	весна	2,07	3,99	0,58	0,22
		лето	4,79	9,67	0,61	0,19
		осень	6,52	4,78	0,22	0,19
	2012	весна	6,6	-	-	-
		лето	3,9	10,83	0,82	0,37
		осень	0,7	1,43	0,61	0,38
Зап. Двина	2011	весна	0,50	1,05	0,63	0,04
		лето	0,22	0,93	1,24	0,18
		осень	0,58	1,11	0,58	0,13
	2012	весна	0,61	0,94	0,46	0,04
		лето	0,33	2,3	2,12	0,14
		осень	0,34	1,98	1,77	0,16
Дисна	2011	весна	1,25	1,83	0,44	0,09
		лето	0,26	0,53	0,62	0,10
		осень	-	15,09	-	-
	2012	весна	0,81	1,03	0,38	0,05
		лето	0,18	0,48	0,83	0,03
		осень	0,17	3,58	6,48	0,30
Малые реки	2011	весна	3,02	3,28	0,33	0,19
		лето	0,51	0,80	0,47	0,07
		осень	13,39	8,06	0,18	0,44
	2012	весна	1,73	2,10	0,36	0,12
		лето	0,99	3,13	0,95	0,13
		осень	0,81	6,39	2,37	0,70

Для более наглядного сравнения показателей, весь массив данных, полученных за период исследования, был разбит на 4 категории (Виляя, Зап. Двина, Дисна, малые реки). Медианные значения содержания сестона и

хлорофилла, а также диапазон колебаний этих показателей в разных водных объектах представлен на рисунках 6-7.

По содержанию взвешенных веществ медианные значения в разных реках существенно не различаются, несколько более высокие величины наблюдали в р. Виляя. Диапазон колебаний значений, попадающих в рамки между 25 и 75 процентилями, также примерно одинаков для разных речных систем. Для р. Виляя он также несколько шире, чем в остальных реках. Наименьшим размахом колебаний сестона характеризуется р. Дисна.

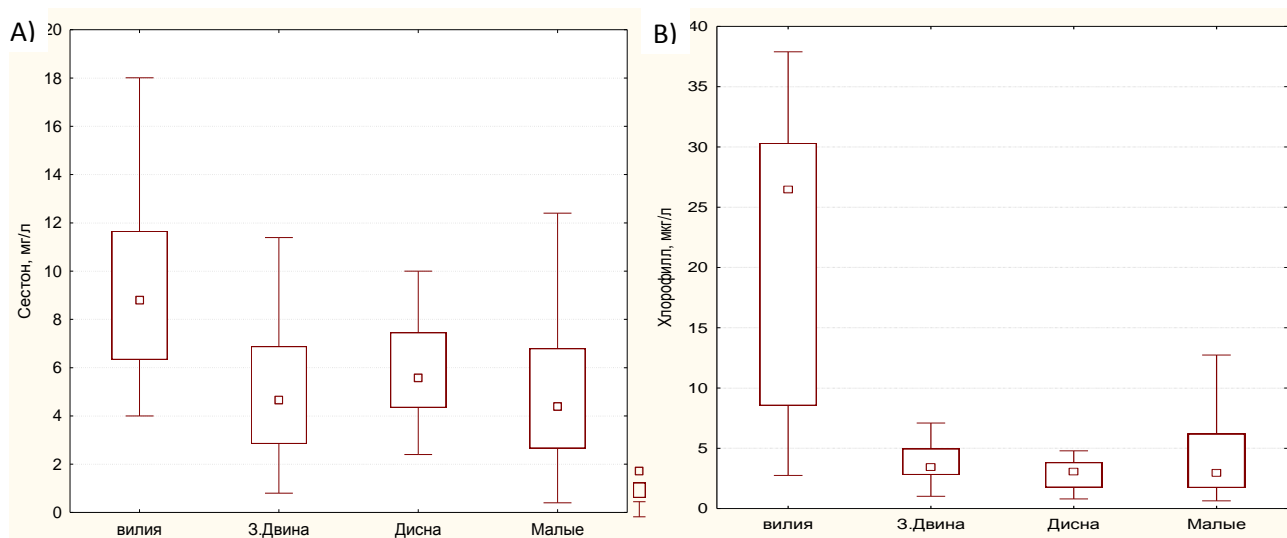


Рисунок 6 – Содержание сестона (А) и хлорофилла (В) в исследованных реках (здесь и на рис. 7 приведены медианы, квартили, минимальные и максимальные значения)

Диапазон колебаний и медианные значения содержания хлорофилла проявляли более выраженные различия, сохраняя те же тенденции, – в р. Виляя содержание хлорофилла было существенно выше, а размах колебаний значительно шире, чем в остальных реках. Небольшими колебаниями концентрации хлорофилла характеризовались реки Дисна и Зап. Двина.

Медианные значения и диапазон колебаний удельного содержания хлорофилла в биомассе фитопланктона и сестоне отражены на рисунке 7.

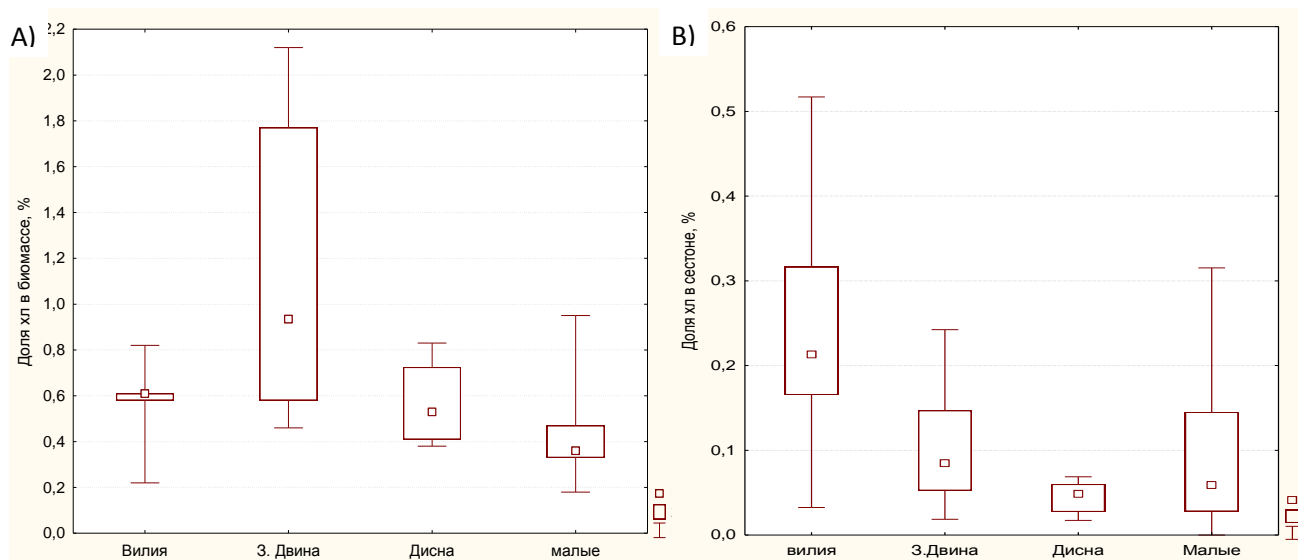


Рисунок 7 – Доля хлорофилла (%) в биомассе фитопланктона (А) и сестоне (В) в исследованных реках

Как видно из рисунка, удельное содержание хлорофилла в биомассе водорослей было более высоким в р. Зап. Двина (при этом диапазон колебаний в данной водной системе также был существенно шире, чем в других реках), а самым низким – в малых водотоках (см. рис. 7А).

Удельное содержание хлорофилла в сестоне наиболее вариабельно в р. Вилия, там же были отмечены самые высокие значения этого показателя, в несколько раз превышающие таковые для других рек. Отсюда можно сделать вывод, что в р. Вилия на долю фитопланктона приходится более существенная часть взвешенного в воде вещества. Рассчитанный по среднесезонным значениям биомассы вклад фитопланктона в состав сестона в р. Вилия оказался близким к 10 % (при расчетах принимали, что сухая масса фитопланктона составляет 20% от его сырой массы), аналогичные расчеты для малых рек показали, что фитопланктон составляет в среднем порядка 6% общего количества взвешенного в воде вещества, в рр. Зап. Двина и Дисна – 1-2%. В р. Дисна отмечено самое низкое удельное содержание хлорофилла в сестоне (медиана составила 0,05 %), а также относительно узкий размах колебаний этого показателя.

В целом, по содержанию сестона и хлорофилла трофический статус исследованных рек может быть определен как эвтрофный для р. Ви́лия, и как мезотрофный – для рек Зап. Двина, Дисна и большинства малых рек.

Заключение

По содержанию сестона и хлорофилла вода в крупных реках Ви́лия и Зап. Двина существенно различается: в р. Ви́лия взвеси в среднем вдвое, а хлорофилла в 5 раз больше, чем в Зап. Двине, малые водотоки занимают промежуточное положение. В р. Ви́лия сезонные тренды изменения содержания сестона и хлорофилла совпадали, в остальных водотоках пики сестона и хлорофилла наблюдали в разные сезоны года.

Рассчитанные значения удельного содержания хлорофилла в водорослевой биомассе в исследованных реках оказались достаточно высокими в сравнении с литературными данными, составив в среднем 0,8% против 0,3%. Ввиду широкой вариабельности удельного содержания хлорофилла в единице сырой биомассы водорослей, обилие фитопланктона по концентрации хлорофилла можно оценить лишь приблизительно. Содержание хлорофилла в сестоне, напротив, было типичным для водоемов и водотоков умеренной зоны (около 0,2%), при этом самые высокие значения и максимальный размах данных по этому показателю отмечены в р. Ви́лия.

Рассчитанный вклад фитопланктона в состав сестона оказался самым высоким в р. Ви́лия, составив в среднем за сезон около 10 %, в малых реках эта величина была вдвое, а в рр. Зап. Двина и Дисна в несколько раз ниже.

По содержанию сестона и хлорофилла р. Ви́лия характеризуется как эвтрофный водоток, остальные реки попадают преимущественно в категорию мезотрофных вод.

Список использованных источников

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. – Мн., 1979. – С. 187-269.

2. Остапеня А.П. Сестон и детрит как структурные и функциональные компоненты водных экосистем: Дис. ... доктор биол. наук: 03.00.18. – Мн., 1988. – С. 24-56, 404-459.
 3. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. – М.: Эколайн, 1999. – С. 19-49.
 4. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ // Отв. ред. В.Т. Комов. – М.: Наука, 2004. – С. 5-12, 91-115.
 5. Михеева Т.М. Оценка продукционных возможностей единицы биомассы фитопланктона // Биологическая продуктивность эвтрофного озера / Под ред. Г.Г. Винберга. М: Наука, 1970. – С. 50-70.
 6. Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона. // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов: сборник научных трудов / Под ред. И.Л. Пыриной. – СПб: Гидрометеиздат, 1993 – С. 126-129.
 7. Остапеня А.П. Соотношение между компонентами сестона // Экологическая система Нарочанских озер / под ред. Г.Г. Винберга. – Минск, 1985. – С. 232-233.
 8. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water // Monographs on Oceanologic Methodology. UNESCO, 1966. – P. 9-18.
- Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations // Limnol. Oceanogr. 1967. – Vol. 12. – P. 343-346.