

УДК 574.522; 574.583

А.В. Котовщиков

A.V. Kotovshchikov

**СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА ФИТОПЛАНКТОНА  
ВЕРХНЕЙ ОБИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ХЛОРОФИЛЛА «А»**

**SEASONAL AND INTERANNUAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON ABUNDANCE  
IN UPPER OB RIVER BY CHLOROPHYLL «A» CONTENT**

По результатам многолетних исследований (1993–2012 гг.) проанализирована сезонная и межгодовая динамика содержания хлорофилла «а» фитопланктона в воде р. Оби на участке у г. Барнаула. Показано, что внутригодовые изменения показателя подчинены особенностям гидрологического цикла р. Оби. Период открытой вегетации фитопланктона укорочен из-за длительного весенне-летнего половодья. В многолетнем аспекте проявляется тенденция увеличения содержания хлорофилла «а» в период летне-осенней межени.

Интегральным показателем количественного развития планктонных водорослей в водоемах является содержание основного фотосинтетического пигмента – хлорофилла «а» (Хл «а») в единице объема воды (Трифонова, 1993; Минеева, 2011). В крупных равнинных реках обилие фитопланктона может достигать очень высокого уровня (Апонасенко и др., 1991; Сиренко и др., 1997). Особенности и факторы временных изменений в развитии растительного планктона подробно изучены для различных озер (Трифонова, 1990), в то время как закономерности его сезонной и межгодовой динамики в крупных реках, в частности р. Оби, выявлены недостаточно. В стоячих водах умеренного пояса сезонность в развитии фитопланктона определяется, главным образом, динамикой температуры воды, биогенных веществ, пресом зоопланктона (Kalf, 2003). В реках на первое место выходит их водный режим, которому подчинены все жизненные процессы. Изменение во времени расходов, уровней и объемов воды в водотоках влечёт за собой изменение скоростей течения, мутности, температуры и химического состава воды (Жадин, 1950). Сезонные периодические изменения условий жизни фитопланктона реки в течение года складываются в многолетние, подчиненные более долгосрочным климатическим циклам. Изменение водности рек бассейна р. Оби в последние годы обуславливает необходимость мониторинга состояния их экосистем рек, в частности, первичного звена – фитопланктона.

Для анализа использованы материалы многолетних исследований фотосинтетических пигментов фитопланктона р. Оби на участке г. Барнаула за 1993, 1994, 1997, 1998, 2001, 2002, 2005–2007, 2009–2012 гг., в том числе частично опубликованные (Кириллова и др., 2000). Всего проанализирована 361 проба воды. Фитопланктон концентрировали фильтрацией через мембранные фильтры с диаметром пор 0,8 мкм, концентрацию Хл «а» определяли стандартным методом (ГОСТ, 2003).

Особенностью водного режима р. Оби является длительный период половодья, продолжающийся большую часть теплого времени года. В это время проходит основная часть объема годового стока. В половодье достаточно отчетливо выделяются две волны подъема уровня: первая – весенняя, обусловленная таянием снега в равнинных и предгорных частях бассейна, и вторая – летняя, которая связана с таянием горных ледников. Зимняя межень также длительная и характеризуется минимальным стоком (Ресурсы ..., 1962). Во время наших исследований даты окончания зимней межени (даты ледохода) и даты подъема и спада волн половодья варьировали в разные годы, наиболее существенно отличались даты подъема и спада второй волны половодья. Датой окончания летне-осенней межени для всех лет условно принимали 30 сентября, датой окончания осенней межени – среднюю дату начала ледостава – 15 ноября.

Сезонная динамика обилия фитопланктона участка р. Оби у г. Барнаула по содержанию в воде Хл «а» наиболее подробно изучена по материалам ежедекадных наблюдений в 2001–2002 гг., а также эпизодически в 2005–2007 гг. (Кириллова и др., 2007; Котовщиков, Кириллова, 2008). Среднегодовые значения содержания Хл «а» были близки и составили  $7,27 \pm 1,19$  мг/м<sup>3</sup> (n=56) в 2001 г. и  $6,89 \pm 1,12$  (n=45) в 2002 г. Наиболее часто встречающиеся величины находились в диапазоне 5–15 мг/м<sup>3</sup>, максимальные не превышали 28 мг/м<sup>3</sup>. В годовом цикле среднего по водности 2002 г. минимальное содержание Хл «а» характерно для периода ледостава, максимум отмечен в конце июля. По мере охлаждения вод в течение августа обилие фитопланктона постепенно снижалось и в сентябре средняя величина составляла не более 6,8 мг Хл «а»/

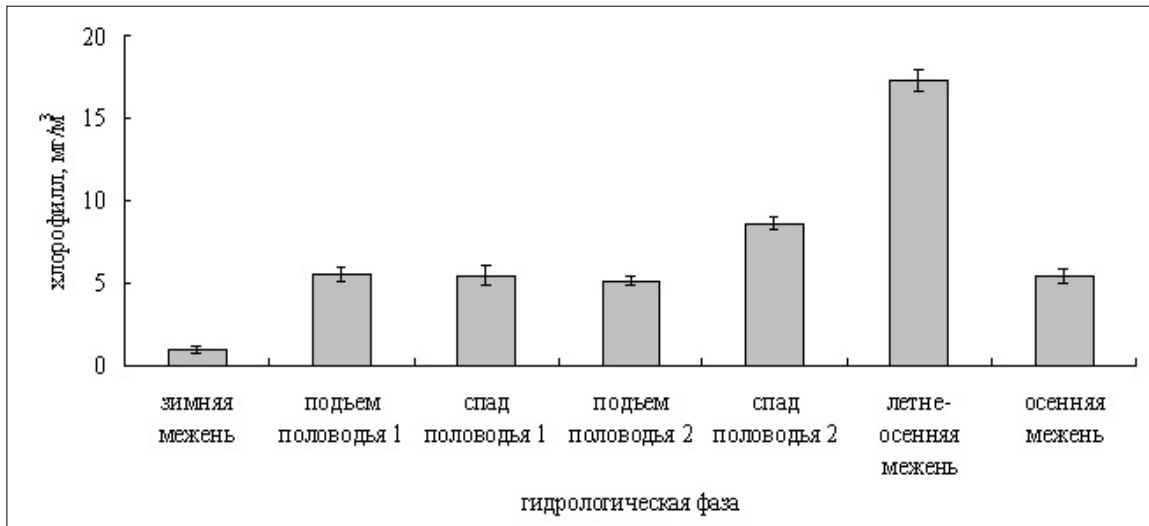


Рис. 1. Сезонная динамика содержания хлорофилла «а» в р. Оби у г. Барнаула по данным 1993–2012 гг. (средние значения при  $p=0,05$ ).

м³. В октябре количество Хл «а» уменьшилось до зимних меженных значений и после образования устойчивого ледового покрова (10 ноября) не превышало 2,1 мг/м³. Сезонные колебания содержания Хл «а» в многоводном 2001 г. отличались от таковых в 2002 г.: весенние величины были ниже, срок наступления летнего максимума был сдвинут к середине июля. Второй, менее выраженный максимум продолжался со второй декады августа до второй декады сентября.

Для обобщенного по всем годам анализа сезонной динамики рассчитаны средние значения показателя для каждой гидрологической фазы (рис. 1). Минимальным содержанием зеленого пигмента в воде ( $1,0 \pm 0,2$  мг/м³) характеризуется зимняя межень, максимальным ( $17,3 \pm 0,6$  мг/м³) – летне-осенняя. Во время половодья и осенней межени концентрация Хл «а» удерживается на невысоком уровне (около 5,0 мг/м³), однако на спаде второй волны половодья возрастает до  $8,6 \pm 0,4$  мг/м³.

В годовом цикле обнаруживается тесная связь содержания Хл «а» с температурой воды ( $r=0,80$ , при  $p=0,0001$ ). Во время длительного периода половодья основным фактором, контролирующим развитие водорослей планктона, является расход воды, действующий напрямую, а также отражающий изменения других факторов. Установленная нами обратная зависимость концентрации Хл «а» (y) от величины расхода (x) описывается степенным уравнением:  $y = 42575x^{-1,04}$  ( $r^2=0,73$ )

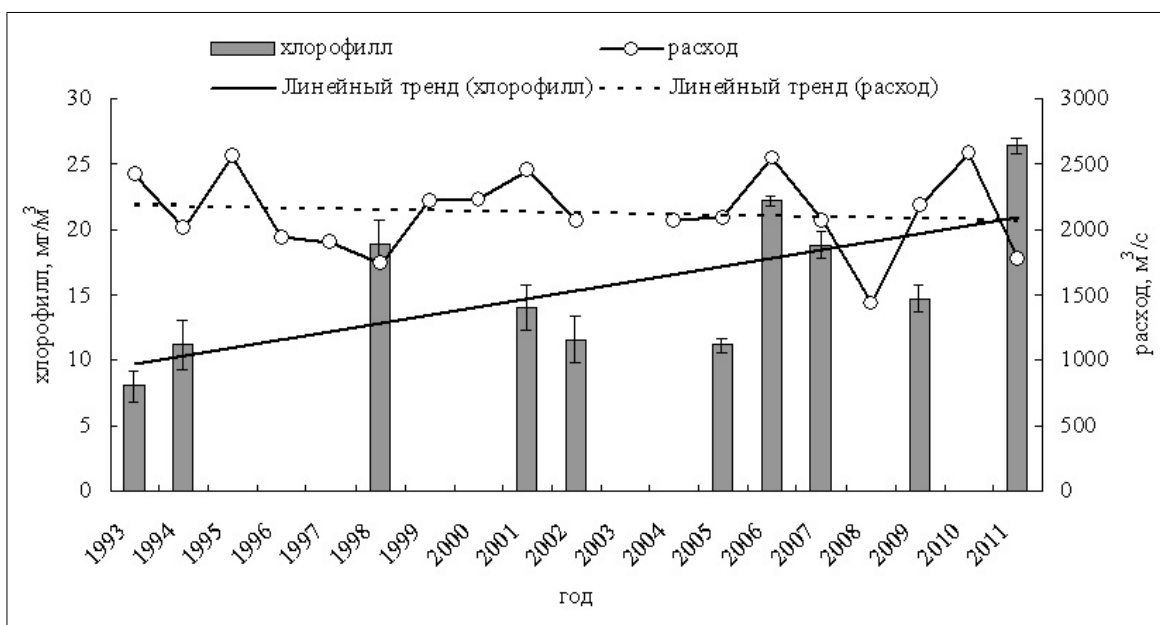


Рис. 2. Межгодовая динамика содержания хлорофилла «а» в воде в период летне-осенней межени (средние при  $p=0,05$ ) и средних для периода открытой воды расходов р. Оби у г. Барнаула.

Максимальный за период открытой воды уровень развития фитопланктона р. Оби наблюдается в летне-осеннюю межень. Для этого периода выявлена отрицательная связь показателя Хл «а» с прозрачностью воды по белому диску ( $r = -0,67$ , при  $p = 0,01$ ), что свидетельствует о преобладании клеток водорослей во взвешенном веществе. В межгодовом аспекте 1993–2011 гг. наблюдается тренд повышения содержания Хл «а» в воде в данную гидрологическую фазу, при этом средний за период открытой воды расход несколько снижается (рис. 2). Снижение водности р. Оби в створе г. Барнаула неоднозначно, поскольку на основе многолетних данных (1922–2006 гг.) установлено увеличение значений среднегодовых расходов на 1,7 %. Однако произошло снижение среднемесячного стока в апреле–июле на 2–5 % (Кошелева, 2010). Снижение водности реки в летне-осенний период особенно заметно в последние годы, что не может не оказать влияния на условия жизни фитопланктона. Причинами повышения обилия фитопланктона в летне-осеннюю межень в многолетнем аспекте могут быть изменения климатических условий, а также антропогенной нагрузки. Для установления наличия или отсутствия таких закономерностей необходим дальнейший мониторинг фитопланктона р. Оби.

Таким образом, динамика содержания Хл «а» в р. Оби определяется гидрологическим режимом реки и характеризуется укороченным циклом вегетации водорослей в период открытой воды при угнетении их развития во время длительного весенне-летнего половодья. Максимум развития наблюдается в период летне-осенней межени. Проявляется тенденция увеличения обилия фитопланктона в период летне-осенней межени за девятнадцатилетний период.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Апонасенко А.Д., Филимонов В.С., Сиренко Л.А. и др.* Концентрация хлорофилла «а», флюоресценция растворенных органических веществ и первичные гидрооптические характеристики вод Дуная // Гидробиол. журн., 1991. – Т. 27, № 5. – С. 22–27.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587–600.
- Жадин В.И.* Жизнь в реках // Жизнь пресных вод СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 113–256.
- Кириллова Т.В., Котовицков А.В., Кириллов В.В.* Содержание хлорофилла «а» фитопланктона как индикатор многолетней динамики качества воды реки Оби в районе г. Барнаула // Питательные воды Сибири, 2007: мат. IV науч.-практ. конф. – Барнаул: Пять плюс, 2007. – С. 115–120.
- Кириллова Т.В., Кириллов В.В., Ловцкая О.В.* Пространственно-временная неоднородность содержания хлорофилла «а» в реке Оби // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: мат. междунар. науч. конф. (3–7 сент. 2000 г.). – Томск: Изд-во науч.-техн. лит., 2000. – С. 530–534.
- Котовицков А.В., Кириллова Т.В.* Сезонная динамика пигментных характеристик фитопланктона разнотипных рек бассейна Верхней Оби // Проблемы региональной экологии, 2008. – № 6. – С. 72–77.
- Кошелева Е.Д.* Изменение стока реки Оби в створе г. Барнаула под влиянием изменений климата // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Мат. Третьей всеросс. конф. с междунар. уч. (Барнаул, 24–28 августа 2010 г.). – Барнаул: АРТ, 2010. – С. 154–157.
- Минеева Н.М.* Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона // Альгология, 2011. – Т. 21, № 3. – С. 385–395.
- Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 6. Равнинные районы Алтайского края и Южная часть Новосибирской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 978 с.
- Сиренко Л.А., Курейшев А.В., Медведь В.А.* Особенности развития фитопланктона верхнего и нижнего участков зарегулированной реки (на примере Днепра) // Гидробиол. журн., 1997. – Т. 33, № 2. – С. 47–56.
- Трифонов И.С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
- Трифонов И.С.* Оценка трофического статуса водоемов по содержанию хлорофилла «а» в планктоне // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – С. 158–166.
- Kalff J.* Limnology: inland water ecosystems. – New Jersey, 2003. – 590 p.

#### SUMMARY

The seasonal and interannual dynamics of phytoplankton chlorophyll “a” in Ob River near Barnaul city during the long-term study (1993–2012) were analyzed. It was shown that the annual change of this index depends on the peculiarities of hydrological cycle in the river. The vegetation of phytoplankton is shorter during the open water period because of the long spring-summer flood period. The increase of chlorophyll “a” content in the summer-autumn low water period was observed in the long-term aspect.