

УДК 504.064

Е.Н. Тарасова*, А.А. Мамонтов, Е.А. Мамонтова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Иркутск*E-mail: tarasova@igc.irk.ru**Взвесь, хлорофилл-а, органическое вещество и биогенные элементы как
показатели трофического статуса водохранилищ Ангарского каскада**

Исследования компонентов трофического статуса и ионного состава в водах Ангарского каскада водохранилищ весной 2013 года показали, что содержание указанных компонентов, а также тренд их средних величин по длине реки обусловлены временем создания, местом в каскаде, биологическими и гидрологическими внутриводоемными процессами, а также антропогенными факторами, происходящими в бассейне реки. Индекс трофического состояния позволяет определить трофический статус каскада Ангарских водохранилищ в исследуемый период.

Ключевые слова: взвесь, хлорофилл-а, органическое вещество, биогенные элементы, Ангарские водохранилища.

E.N. Tarasova, A.A. Mamontov, E.A. Mamontova

**Slurry, chlorophyll-a, organic matter and nutrients as indicators of the trophic status
of the Angara cascade reservoirs**

Research components of trophic status and ionic composition of waters of the Angara cascade reservoirs in spring of 2013 showed that content of these components, as well as trend of the average values along the river due to creation time, place in the cascade, biological and hydrological processes, as well anthropogenic factors taking place in the river basin. Index of trophic condition allows to determine the nutritional status of the Angara cascade reservoirs in the period of study.

Key words: slurry, chlorophyll-a, organic matter, nutrients, Angara reservoirs.

Е.Н. Тарасова, А.А. Мамонтов, Е.А. Мамонтова

**Жүзгін, хлорофилл-а, органикалық қосылыс және биогенді элементтер Ангара суқоймасының
трофикалық статусының көрсеткіштері**

Ангара суқоймасының сарқырама суларының трофикалық статусы мен иондық құрамының компоненттерін 2013 көктеміндегі зерттеулері аталған компоненттердің мөлшері және олардың орташа өлшемдерінің тренді өзен бойымен түзілу уақытымен, сарқырамадағы орнымен, биологиялық және гидрологиялық ішкі су процестерімен және өзен арнасында орын алатын антропогенді процестермен байланысты. Трофикалық күйдің индексі зерттеу кезеңінде Ангара суқоймасының сарқырамасының трофикалық статусын анықтауға көмектеседі.

Түйін сөздер: жүзгін, хлорофилл-а, органикалық қосылыс, биогенді элементтер, Ангара суқоймасы.

Введение

Река Ангара (водный сток 60 км³ за год, площадь бассейна 1,1 млн. км²) – единственный сток из озера Байкал [1]. По водному стоку и по площади бассейна она уступает многим рекам Азии, но по длине водотока Селенга – Ангара

– Енисей превосходит все реки Азии и является четвертой в мире после Амазонки, Нила и Миссисипи [2]. Исток р. Ангары расположен на северном берегу юго-западной части Байкала. Ширина реки у истока около километра, максимальная глубина 4-6 м, минимальная – 0,5-0,7 м. [2]. Отличительной особенностью Ангары до

зарегулирования от других рек является редко наблюдаемая в природе равномерность стока в течение года. В настоящее время на Ангаре для энергетического назначения создан каскад водохранилищ: Иркутское водохранилище (годы создания 1956-1962, проточность – 33), Братское (1961-1967, проточность – 1,8), Усть-Илимское (1976, проточность – 1), построена плотина Богучанской ГЭС и начинается его заполнение. С этого времени началось широкомасштабное освоение бассейна реки: сложился крупнейший регион тяжелой индустрии с развитой гидро- и теплоэнергетикой, цветной металлургией, нефтехимией и большой химией, целлюлозным производством и машиностроением. Быстрая река превращена в каскад слабопроточных техногенных водоемов, где резко ухудшилась самоочищающаяся способность водных масс.

Цель настоящего исследования – оценить современный трофический статус р. Ангары и каскада ее водохранилищ.

Материал и методика исследований

Известно большое количество печатных работ по ионному составу ангарской воды: [3-12]. Первая работа касалась проб воды, отобранной у г. Иркутска. М.Д. Николаева использовала данные анализов проб в период открытой воды с 1957 по 1961 гг., причем весовой метод сульфатов и аргенометрический метод определения хлоридов дали завышенные величины. К сожалению, не все авторы указывают сроки проведения исследований. Как правило, определения биогенных элементов ограничивается только их минеральными формами, не всегда ясны единицы измерений азота и углерода. Все это ограничивает сравнение наших исследований с прежними данными.

Нами для анализа изменчивости компонентов ионного состава, органического вещества и биогенных элементов были приняты данные, полученные в результате отбора проб по единой методике. Исследования в Ангаре от истока до г. Кодинска в Богучанском водохранилище (рисунок 1) по ионному составу, общему количеству взвешенного материала, хлорофилл-а, кремния,

взвешенным и растворенным формам минеральных и органических соединений углерода, азота и фосфора, кремния проведены в мае-июне 2013 г. На месте отбора проб измерялась температура, прозрачность и pH. Заметим, что сравнение настоящих исследований с предыдущими годами было возможно только с определяемыми в то время компонентами ионного состава, а также с минеральными формами азота и фосфора, кремния и органического вещества в нефилътрированной воде. Очень важно при сравнении исследований учитывать не только место и время отбора проб, но и применяемые методы, несмотря на их общеизвестность, т.к. их модификации могут привести к неправильным выводам. Отметим, что исследования авторами выполнялись по единым методикам [2,13,14]. Пробы воды отбирали с глубины 0,2 м в количестве 3-5 л. Анализы проводили в течении 2-3-х дней, пробы воды все это время находились в темноте.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы "STATISTICA'6".

Результаты и обсуждения

Ионный состав.

Результаты настоящего исследования представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Гидрохимический режим водохранилищ Ангарского каскада формируется не только водным и химическим стоком оз. Байкал, притоками, атмосферными осадками, промышленными и хозяйственными стоками, но в значительной мере и внутриводоемными процессами. Большую роль играет и эксплуатационный режим ГЭС. Как отмечают Ю.Б. Тржцинский и К.Г. Леви [15], «резкие залповые сбросы воды приводят к быстрому снижению уровня, что существенно активизируют абразионные, карстовые и оползневые процессы». Следует также отметить, что на гидрохимический режим водохранилищ влияет каскадное их расположение: Иркутское – Братское – Усть-Илимское – Богучанское и их морфометрия и гидрология.

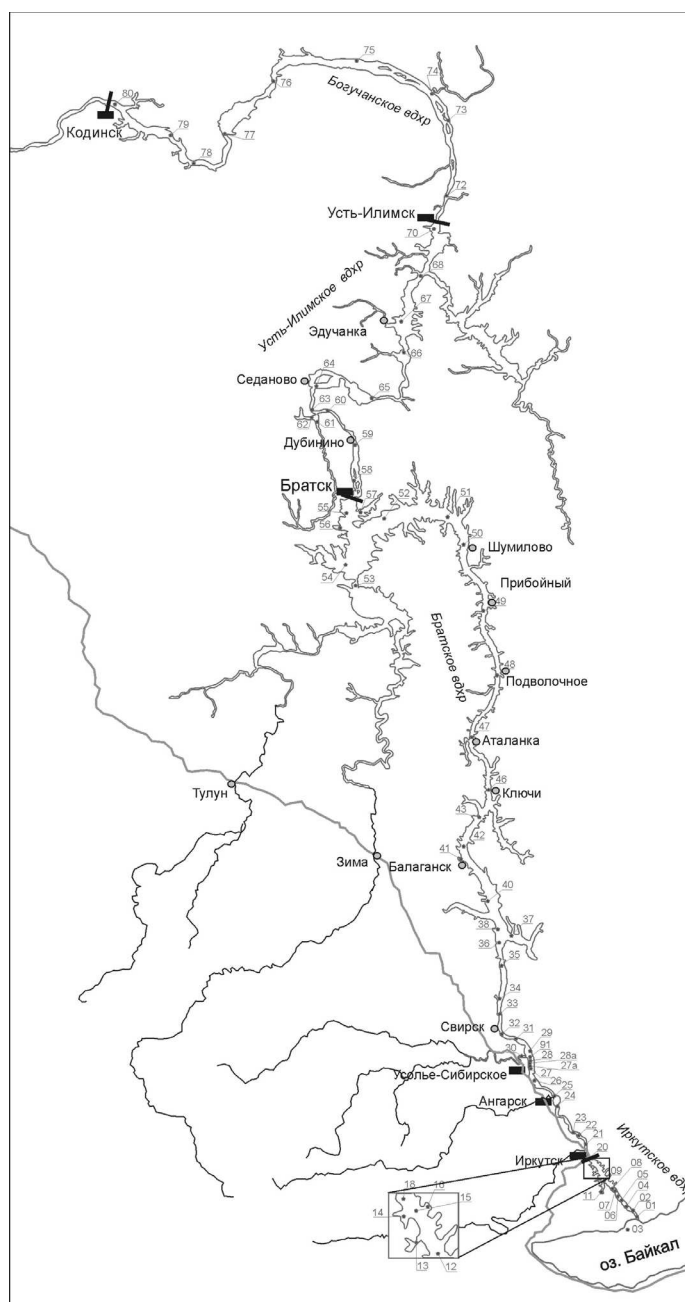


Рисунок 1 – Схема отбора проб воды в р. Ангары и Ангарских водохранилищах

Основной общей чертой водохранилищ Ангарского каскада является низкая величина суммы ионов и они принадлежат, как и воды Байка-

ла и реки Ангары до зарегулирования, к одной гидрохимической фации – к гидрокарбонатному классу группы кальция (таблица 1).

Таблица 1 – Ионный состав в Истоке Ангары и Ангарских водохранилищ

	Исток Ангары [16]			Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Богучанское
	1950-1955	1970-1984	1997-2007	Май – июнь 2013г.			
HCO_3^-	67,51	61,15	65,97	68,08	74,68	80,32	92,45
SO_4^{2-}	4,24	4,90	5,70	7,68	11,56	15,94	10,41
Cl^-	0,43	0,68	0,61	0,61	3,04	5,98	6,36
Ca^{2+}	16,76	14,79	15,48	15,39	19,7	19,43	20,04
Mg^{2+}	2,30	2,88	3,36	3,77	3,87	6,81	6,79
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	4,29	3,51	4,18	5,68	7,00	9,30	12,93
С у м м а ионов	95,53	87,91	95,3	101,21	119,85	137,78	148,98

Обращает внимание увеличение содержания сульфатов в Иркутском водохранилище по сравнению с таковым в 1950-1960-е годы, что обусловлено влиянием в последние годы стоков

Байкальского целлюлозно-бумажного комбината в южной части озера Байкал [16, 17]. По сумме ионов ангарские водохранилища достоверно различны (таблица 2).

Таблица 2 – Достоверность различия (p) средних величин суммы ионов в воде Ангарских водохранилищ

	Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Богучанское
Иркутское		< 0,01	< 0,001	< 0,001
Братское	< 0,01		< 0,05	< 0,01
Усть-Илимское	< 0,001	< 0,05		> 0,05
Богучанское	< 0,001	< 0,01	> 0,05	

По длине реки Ангары от истока до Кодинска для компонентов ионного состава наблюдаем увеличение их содержания, особенно высокое для хлора (рисунок 2).

Органическое вещество и биогенные элементы.

Результаты исследования представлены в таблице 3 и рисунке 3а,б,в,г,д.

Пространственная неоднородность для биогенных элементов и органического вещества характерна для всех водохранилищ Ангарского каскада (рисунок 3а,б,в,г,д) Она обусловлена в

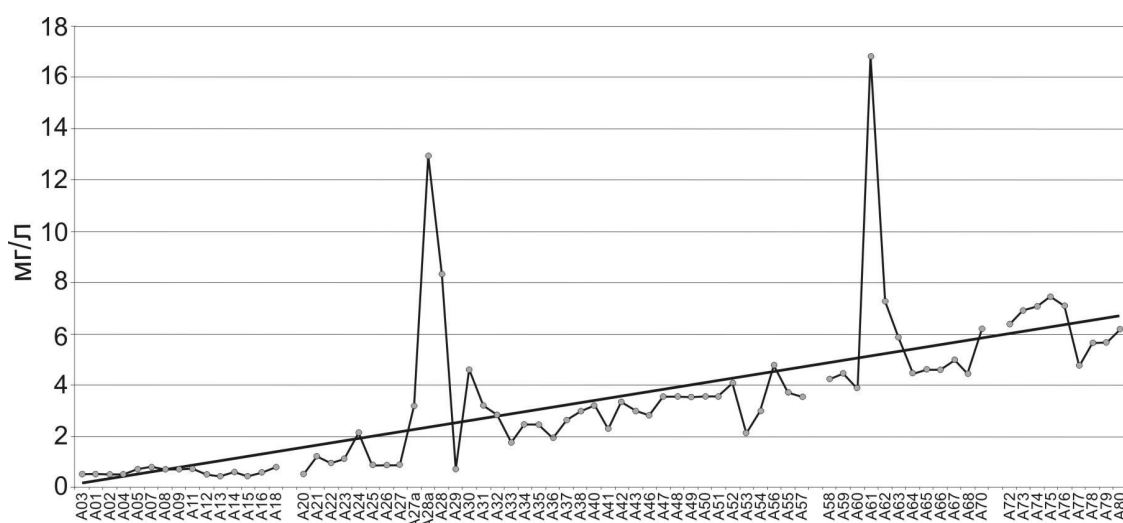
большей степени морфологией: озеровидные расширения чередуются с узкими речными участками.

Минеральные формы азот – азот нитритов, нитратов и аммонийный – определялись во всех водохранилищах. Доминирующей формой минерального азота в исследуемый период является аммонийный (таблица 3, рисунок 3а).

В водах Байкала и истоке Ангары с 1950 годов аммонийный и нитритный азот отсутствовали во все сезоны года. Нитратный азот является преобладающей формой минерального азота во все периоды исследования.

Таблица 3 – Органическое вещество, взвесь, хлорофилл-а и биогенные элементы в водах каскада водохранилищ р. Ангары в мае-июне 2013 г.

Элемент	Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Богучанское
$N-NH_4^+$, мкг/л	8,77	41	72	113
$N-NO_2^-$, мкг/л	1,89	13,9	28,68	21,29
$N-NO_3^-$, мкг/л	21,06	28,12	22,79	31,11
Норг, мкг/л нф	304,9	212,4	332,6	334,3
Норг, мкг/л взв.	210,9	135,6	285,7	271,2
Рмин, мкг/л	9,5	13,27	18,31	17,89
Робщ, мкг/л	27,6	33,7	86,12	64,2
Si-SiO ₂ , мг/л	1,22	1,45	1,72	1,63
Сорг, мг/л нф	1,58	2,88	7,44	7,83
Сорг, мг/л взв.	0,352	0,396	0,343	1,486
хлорофилл-а, мкг/л	2,475	4,027	3,76	4,32
взвесь, мг/л	1,69	3,37	2,20	1,40

**Рисунок 2** – Содержание хлора в воде р. Ангары и Ангарских водохранилищах

По длине реки все элементы, представленные в таблице 3, как и компоненты ионного состава, увеличиваются от истока до г. Кодинска (рисунок 3а, б, в, г, д). Так, аммонийный азот в Братском, Усть-Илимском и Богучанском водохранилищах по сравнению с Иркутским увеличился в 5; 8 и 13 раз, нитритный азот – в 7; 15 и 11 раз, органический углерод – в 1,8; 4,7 и 5 раз, Р общ – в 1,2; 3 и 2 раза, Р мин – 1,4; 1,9 и 1,9 раз, соответственно. Увеличение хлорофилла-а составляет примерно в 2 раза. Содержание же

взвешенного материала в Братском водохранилище увеличивается в 2 раза по сравнению с Иркутским водохранилищем, но затем происходит уменьшение его количества от Усть-Илимского до Богучанского. Увеличение нитратного и органического азота, а также кремния незначительно, что, на наш взгляд, может быть связано с доминированием развития синезеленых водорослей во всех водохранилищах, чему способствовала жаркая погода и повышенная температура поверхности воды (до 24°C). Подтвержде-

ние этого предположения о доминировании развития синезеленых водорослей говорит о том,

что органический азот во всех водохранилищах представлен взвешенной формой.

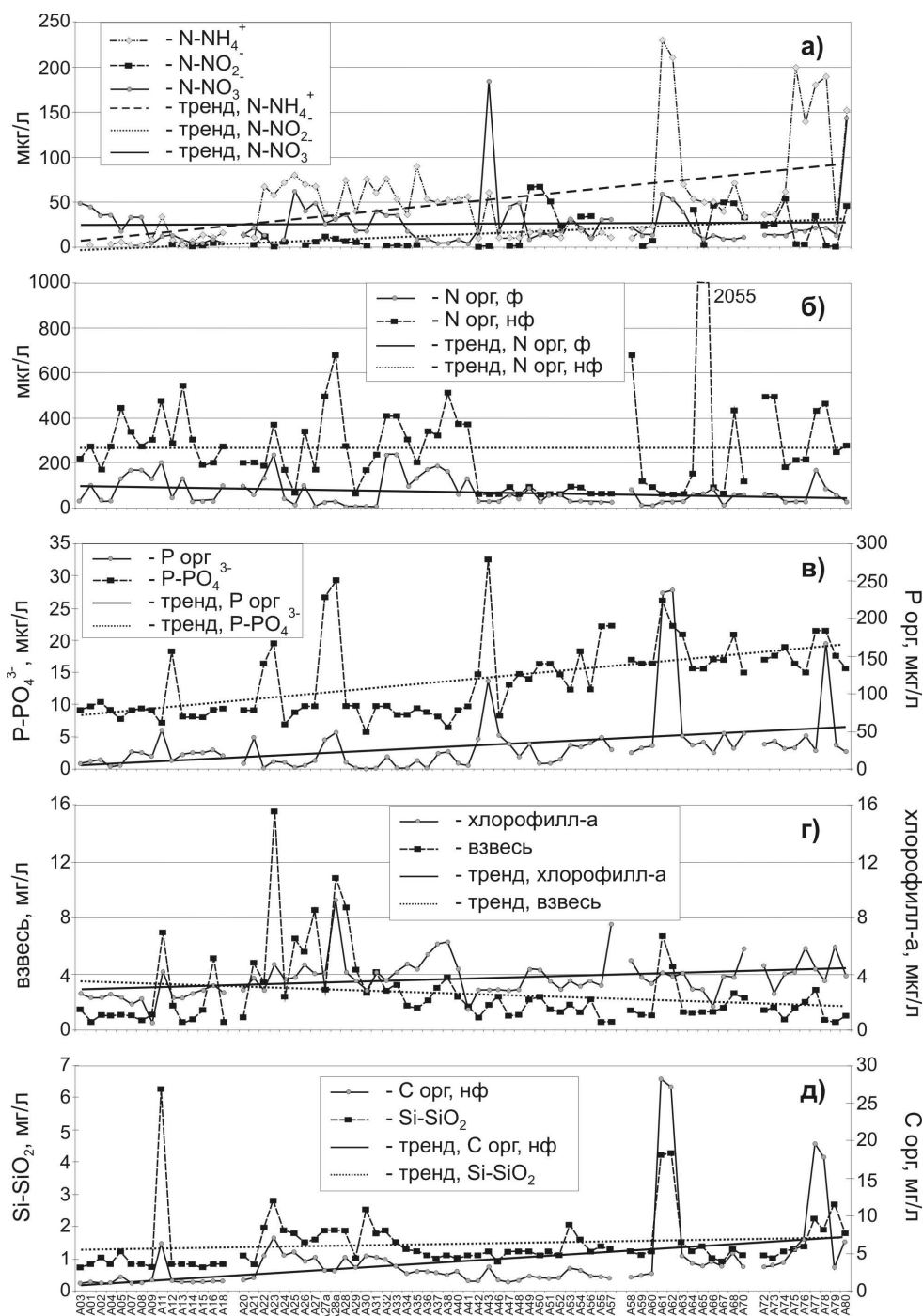


Рисунок 3 – Содержание азота, фосфора, кремния, хлорофилла-а и взвеси в воде р. Ангары и Ангарских водохранилищах

Доля взвешенного органического вещества от общего его содержания составляет в Иркутском водохранилище – 22,3%, в Братском она уменьшается до 13,75%, в Усть-Илимском она продолжает уменьшаться и составляет 4,6%, в Богучанском происходит увеличение взвешенной фракции органического вещества, что, по-видимому, связано с затоплением ложи водохранилища.

Процентное содержание азота и фосфора в органическом веществе может служить качественной характеристикой органического вещества. Известно, что водный гумус планктонного происхождения более богат азотом и фосфором

[18,19]. Во взвешенном органическом веществе в истоке Ангары содержится в среднем за год 17% азота и 0,8% фосфора [17]. Относительное содержание азота и фосфора в органическом веществе водохранилищ Ангарского каскада уменьшается от Иркутского до Богучанского водохранилища (таблица 4), что свидетельствует о том, что доля автохтонного органического вещества уменьшается по длине р. Ангары. Это подтверждается и величинами отношений C:N и C:P (таблица 4), которые также используются для генетической характеристики органического вещества природных вод.

Таблица 4 – Показатели качественного состава органического вещества, лимитирования развития фитопланктона и трофического статуса в ангарских водохранилищах

Показатели	Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Богучанское
C:N вес. нф	5,15	21,25	98,97	23,80
C:N вес. взв.	1,7	2,9	1,2	5,3
C:P вес. нф	113	1837	107	222
N:P общ. вес.	13,93	14,98	8,19	9,36
N в ОБ, %	11,29	4,07	5,40	3,19
P в ОБ, %	0,63	0,48	0,52	0,35
Хл.-а : N	8,11	18,96	11,3	12,9
Хл.-а : P	0,09	0,12	0,04	0,07
Хлорофилл-а в ВОВ	0,35	0,51	0,55	0,15
Сорг.взв во взвеси, %	20,8	11,8	15,6	99
Сорг.взв в Сорг.нф, %	22,3	13,75	4,61	18,98
ИТС	47,27	50,29	51,18	52,48

Как было показано [20], широкие величины их отношений характерны для вод, вытекающих из болот и имеющих желто-коричневую окраску разных оттенков. Эти воды богаты органическим веществом. Наоборот, воды с узким отношением C:N и C:P или не окрашены или окрашены весьма слабо. В таких водах количество органического вещества невелико и оно в основном планктонного происхождения.

Величины отношений C:N и C:P во взвешенном органическом веществе могут быть использованы для определения лимитирования в развитии фитопланктона. Установлено, что при C:P больше 133 наблюдается P-лимитирование, при

C:N меньше 7 – N-лимитации нет, при C:N равным 7-15 отмечается средний уровень N-лимитации, при C:N больше 15 – N-лимитирование строгое [21, 22]. Следовательно, для вод Иркутского и Богучанского, а также для вод Братского водохранилища выше Балаганска наблюдается строгое N-лимитирование, для остальной территории лимитирования азота нет.

Судя по критериям, принятым исследователями [23], по которым водоем можно отнести к эвтрофному: прозрачность по диску Секки – не более 2 м (в водохранилищах она изменяется в широких пределах от 1 до 14 м), содержание хлорофилла-а до 20 мкг/л (по на-

шим данным величины хлорофилла-а достигали максимума 9,3 мкг/л), общий фосфор – 20 мкг/л (средние величины общего фосфора изменялись от 28 мкг/л в Иркутском водохранилище до 86 мкг/л в Усть-Илимском), азот общий – 600 мкг/л (до 2300 мкг/л), трудно отнести воды водохранилищ к какому-либо типу трофического статуса.

В последние годы исследователи [24,25,26] используют отношение концентрации хлорофилла к общему азоту и фосфору как отклик фитопланктона на азот и фосфор. Полученные Минеевой Н.М. для водохранилищ Волги величины откликов в мезотрофных и эвтрофных состояниях соответственно: для Хл/ТР 0,09-0,12

и 0,21-0,28 мкг/мкг, для Хл/TN – 10-15 и 14-27 мкг/мг. Рассчитанные нами для Ангарских водохранилищ величины указанных выше откликов фитопланктона на азот и фосфор близки к таковым для водохранилищ Волги.

Содержание хлорофилла как показателя биомассы фитопланктона и отражающий трофический статус водохранилищ было использовано в виде индекса трофического состояния – ИТС – по формуле [27]:

$$\text{ИТС} = 40 + 20 \lg \text{Хл}$$

Значения ИТС менее 40 составляют олиготрофные воды, 40-60 – мезотрофные и более 60 – эвтрофные при концентрации хлорофилла менее 1, 1-10 и более 10 [28].

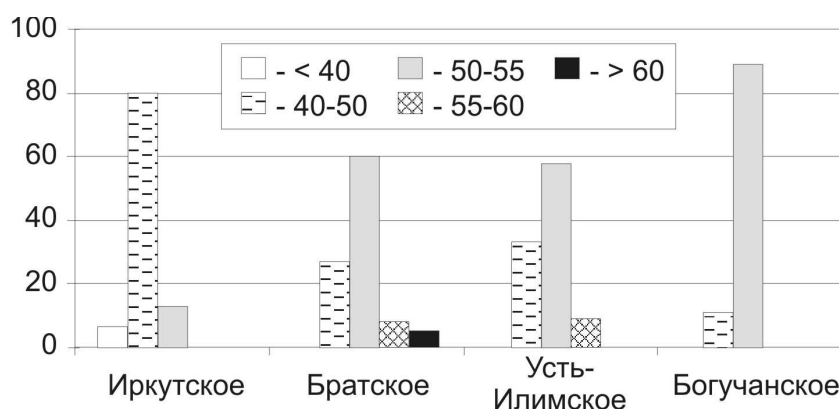


Рисунок 4 – Частота встречаемости величин ИТС (% от общего числа проб) в водохранилищах р. Ангары

Таким образом, основная масса вод каскада Ангарских водохранилищ в мае-июне 2013 г. относится к мезотрофным водам и только 7% в Иркутском водохранилище соответствуют олиготрофному статусу, а 5% в Братском водохранилище – к эвтрофному.

Заключение

Исследования компонентов трофического статуса и ионного состава в водах Ангарского каскада водохранилищ весной 2013 года показали, что содержание указанных компонентов, а также тренд их средних величин по

длине реки обусловлены временем создания, местом в каскаде, биологическими и гидрологическими внутриводоемными процессами, а также антропогенными факторами, происходящими в бассейне реки. Индекс трофического состояния позволяет определить трофический статус каскада Ангарских водохранилищ в исследуемый период – основная масса вод водохранилищ Ангарского каскада относится к мезотрофным, и только 7% в Иркутском водохранилище соответствуют олиготрофному статусу, а 5% вод в Братском водохранилище – к эвтрофному.

Работа поддержана грантами РФФИ №№ 04-05-64870, 07-05-00697, 13-05-00375.

Литература

- 1 Иванов И.Н. Гидроэнергетика Ангары и природная среда. – Новосибирск: Наука, 1991. – 128 с.
- 2 Глазунов И.В. Гидрохимический режим и химический сток реки Ангары //Тр. ЛИН. – 1963. – Т.3 (23). – С. 57-94.
- 3 Концевич В.И. Химический режим реки Ангары //Изв. Биолог.-географ. Ин-та при ИГУ. – 1930. – Т.5, Вып. 3. – 67 с.
- 4 Бочкарев П.Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. – Иркутск, 1959. – 155 с.
- 5 Николаева М.Д. К гидрохимии Иркутского водохранилища //Биология Иркутского водохранилища /Под ред. Г.И.Галазия. Труды Лимнологического института. М.: Наука, 1964. – Том II (31). – С. 17-40.
- 6 Верболова Н.В. Формирование гидрохимического режима Братского водохранилища //Формирование планктона и гидрохимии Братского водохранилища. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 78-118.
- 7 Кожова О.М., Паутова В.Н. Первичная продукция в Братском водохранилище и факторы ее определяющие //Водн. Ресурсы. – 1982. – № 1 – С. 128-139.
- 8 Измestyева Л.Р. Содержание хлорофилла //Первичная продукция в Братском водохранилище. – М.: Наука, 1983. – С. 105-123.
- 9 Стрижова Т.А. Условия и особенности формирования гидрохимического режима, состава и качества вод искусственных водоемов (на примере Усть-Илимского водохранилища // Автореф. дисс... канд.геогр. наук – Иркутск, 1985. – 16 с.
- 10 Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары. – Новосибирск: Наука, 1995. – 125 с.
- 11 Карнаухова Г.А. Гидрохимия Ангары и водохранилищ Ангарского каскада //Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 1. – С.72-80.
- 12 Алиева В.И. Природные и техногенные потоки химических элементов в воде Братского водохранилища. //Автореф. дисс... канд. геолого-мин. наук. – Иркутск, 2009. – 19 с.
- 13 Тарасова Е.Н. Органическое вещество вод Южного Байкала. – Новосибирск: Наука, 1975. – 147 с.
- 14 Тарасова Е.Н., Мещерякова А.И. Современное состояние гидрохимического режима озера Байкал. – Новосибирск: ВО Наука, 1992. – 144 с.
- 15 Трjцинский Ю.Б., Леви К.Г. Водохранилища Ангарского каскада ГЭС и проблема наведенной сейсмичности //Гео-экология, инженерная геология, геоэкология. – 2009. – №1 – С. 71-79.
- 16 Тарасова Е.Н., Гребенщикова В.И., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А., Гамаюнова К.А. Многолетние исследования гидрохимического режима истока реки Ангары – оценка состояния экосистемы Байкала //В сб.: Проблемы экологической геохимии. – Ч. 1. – Минск, 2008. – С. 117-119.
- 17 Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А., Прохоник Л.Б., Удодов Ю.Н., Гапон А.Е., Андрулайтис Л.Д., Рязанцева О.С. Особенности сезонных изменений компонентов трофического статуса истока реки Ангары в современный период //В сб.: Вода: экология и технология, ЭКВАТЭК-2006. – Москва, 2006. – С. 44-51.
- 18 Пономарева В.В. О методах выделения и химической природе фульвокислот //Почвоведение. – 1947. – № 12. – С.10-18.
- 19 Крылова Л.П., Скопинцев Б.А. Органический углерод в водах рек Подмоскoвья и крупных рек Советского Союза // Гидрохим. материалы. – 1959. – Т. 28. – С. 12-16.
- 20 Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус) //Тр. Гос. Океанограф. Ин-та. – Л.: Гидрометеиздат, 1950. – Вып. 7(29). – 396 с.
- 21 Hecky R.E., Kilham P. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment //Limnol. Oceanogr. – 1988. – № 33 (4, part 2). – P. 796-822.
- 22 Kilham S.S. Relationship of Phytoplankton and Nutrients to Stoichiometric Measures. / Large Lakes. Ecological Structure and Function. Eds. Max M. Tilzer, Colette Serruya / Springer-Verlag, 1990. – P. 403-413.
- 23 Forsberg, C. and S.O. Ryding. Eutrophication parameters and trophic state in 30 Swedish waste-receiving lakes //Archiv fur Hydrobiologie. – 1980. – № 89. – P. 180-207.
- 24 Минеева С.С. Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. – Москва: Наука, 2004 – 156 с.
- 25 Трифонова 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.
- 26 Golterman H.L. Chlorophyll – phosphate relationships – a tool for water management //Algae and aquatic environment. – Bristol: Biopress, 1988. – P. 205-224.
- 27 Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. Автореф. дисс...биол. Наук. – Л., 1985. – 32 с.
- 28 Науменко М.А. Эвтрофирование озер и водохранилищ. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГТМУ, 2007. – 100 с.

References

- 1 Ivanov I.N. Hangars hydropower and natural environment [*Gidrojenergetika Angary i prirodnaia sreda*]. - Novosibirsk: Nauka, 1991. P.128.
- 2 Glazunov IV Hydrochemical conditions and chemical runoff Angara River [*Gidrohimicheskij rezhim i himicheskij stok reki Angary*]. Proc. LINA [Tr. LINA]. 1963, 3 (23). P. 57-94.
- 3 Kontseвич V.I. Chemistry of the Angara River [*Himicheskij rezhim reki Angary*]/ Math. Biolog. geographer. Inst at ISU [*Izv. Biolog.-geograf. In-ta pri IGU*]. 1930. 5(3). P. 67.

- 4 Bochkarev P.F. Hydrochemistry rivers of Eastern Siberia [*Gidrohimiya rek Vostochnoj Sibiri*]. Irkutsk, 1959. P. 155.
- 5 Nikolaeva M.D. To hydrochemistry Irkutsk water reservoir [*K gidrohimi Irkutskogo vodohranilishha*] // Biology Irkutsk Reservoir. Edited by G.I. Galaziya. Proceedings of the Limnological Institute [*Biologiya Irkutskogo vodohranilishha*]. Moscow: Nauka, 1964. II (31). P. 17-40.
- 6 Verbolova N.V. Formation of hydrochemical regime Bratsk water reservoir [*Formirovanie gidrohimicheskogo rezhima Bratskogo vodohranilishha*] // Formation of plankton and hydrochemistry Bratsk water reservoir [*Formirovanie gidrohimicheskogo rezhima Bratskogo vodohranilishha*]. Novosibirsk: Nauka, 1973. P. 78-118.
- 7 Kozhova O.M., Pautova V.N. Primary production in the Bratsk water reservoir and limiting factors [*Pervichnaya produkcija v Bratskom vodohranilishhe i faktory ee opredelajushhie*]. *Vodn. Resursy – Water Resources*. 1982, no 1. P. 128-139.
- 8 Izmetieva L.R. Chlorophyll content. Primary production in the Bratsk Reservoir [*Soderzhanie hlorofilla. Pervichnaya produkcija v Bratskom vodohranilishhe*]. Moscow: Nauka, 1983. P. 105-123.
- 9 Strizhova T.A. Conditions and specific features of the hydrochemical regime, composition and water quality artificial reservoirs (for example, the Ust-Ilim reservoir [*Uslovija i osobennosti formirovanija gidrohimicheskogo rezhima, sostava i kachestva vod iskusstvennyh vodoemov (na primere Ust'-Ilimskogo vodohranilishha)*] // Author's abstract. Irkutsk, 1985. P. 16.
- 10 Vorobyov S.S. Phytoplankton reservoirs of the Angara [*Fitoplankton vodoemov Angary*]. Novosibirsk: Nauka, 1995. P. 125.
- 11 Karnauhova G.A. Hydrochemistry of Angara and Angara cascade reservoirs [*Gidrohimiya Angary i vodohranilishh Angarskogo kaskada*]. *Vodnye resursy – Water Resources*, 2008. 35(1). P. 72 -80.
- 12 Aliyeva V.I. Natural and anthropogenic fluxes of chemical elements in the water of the Bratsk reservoir [*Prirodnye i tehnoennye potoki himicheskikh jelementov v vode Bratskogo vodohranilishha*]. Author's abstract. Irkutsk, 2009. P. 19.
- 13 Tarasova E.N. Organic matter of the Southern Baikal [*Organicheskoe veshhestvo vod Juzhnogo Bajkala*]. Novosibirsk: Nauka, 1975. P. 147.
- 14 Tarasova E.N., Meshcheriakova A.I. Current state of the hydrochemical regime of Lake Baikal [*Sovremennoe sostojanie gidrohimicheskogo rezhima ozera Bajkal*]. Novosibirsk: IN Science, 1992. P. 144.
- 15 Trzhtinskii Y.B., Levi K.G. Angara cascade hydropower reservoirs and the problem of induced seismicity [*Vodohranilishha Angarskogo kaskada GJeS i problema navedennoj sejsmichnosti*]. *Geojekologija, inzhenernaja geologija, geokriologija – Geoecology, engineering geology, geocryology*, 2009. no 1. P. 71-79.
- 16 Tarasova E.N., Grebenshikova V.I., Mamontov A.A., Mamontova E.A., Gamayunova K.A.. Long-term studies of the hydrochemical regime source of the Angara River - assessment of the Baikal ecosystem [*Mnogoletnie issledovanija gidrohimicheskogo rezhima istoka reki Angary – ocenka sostojanija jekosistemy Bajkala*]. In Coll: Problems environmental geochemistry. 1. Minsk, 2008. P. 117-119.
- 17 Tarasova E.N., Mamontova E.A., Prohovnik L.B., Udodov Y.N., Gapon A.E., Andrulaytis L.D., Ryazantseva O.S. Features seasonal changes in the trophic status of the source components of the Angara River in the modern period [*Osobennosti sezonnyh izmenenij komponentov troficheskogo statusa istoka reki Angary v sovremennyj period*]. In Coll: Water: Ecology and Technology, ECWATECH 2006. Moscow, 2006. P. 44-51.
- 18 Ponomareva V.V. About methods of isolation and chemical nature of fulvic acids [*O metodah vydelenija i himicheskoy prirode ful'vokislot*]. *Pochvovedenie – Soil Science*, 1947. no 12. P. 10-18.
- 19 Krylova L.P., Skopintsev B.A. Organic carbon in the waters of the rivers near Moscow and large rivers of Soviet Union [*Organicheskij uglerod v vodah rek Podmoskov'ja i krupnyh rek Sovetskogo Sojuza*]. *Gidrohimiya. Materialy – Hydroquinone. Materials*, 1959. 28. P. 12-16.
- 20 Skopintsev B.A. Organic matter in natural waters (water humus) [*Organicheskoe veshhestvo v prirodnyh vodah (vodnyj gumus)*]. Proc. State. Oceanographer. Inst. Leningrad.: Gidrometeoizdat, 1950. 7 (29). P. 396.
- 21 Hecky R.E., Kilham P. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 1988. 33 (4, part 2). P. 796-822.
- 22 Kilham S.S. Relationship of Phytoplankton and Nutrients to Stoichiometric Measures. / Large Lakes. Ecological Structure and Function. Eds. Max M. Tilzer, Colette Serruya. Springer-Verlag, 1990. P. 403-413.
- 23 Forsberg, C. and S.O. Ryding. Eutrophication parameters and trophic state in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Archiv fur Hydrobiologie*, 1980, no 89. P. 180-207.
- 24 Mineeva S.S. Plant pigments in the water reservoirs of the Volga [*Rastitel'nye pigmenty v vode Volzhskih vodohranilishh*]. Moscow: Nauka, 2004. P. 156.
- 25 Trifonova I.S. Assessment of the trophic status of water bodies on the content of chlorophyll and plankton [*Ocenka troficheskogo statusa vodoemov po sodержaniju hlorofilla a v planktone*]. Methodological problems in the study of primary production of plankton inland waters. - St. Petersburg. Gidrometeoizdat [*Metodicheskie voprosy izuchenija pervichnoj produkcii planktona vnutrennih vodoemov. – SPb.: Gidrometeoizdat*], 1993. P. 158-166.
- 26 Golterman H.L. Chlorophyll – phosphate relationships – a tool for water management [*Zakonomernosti pervichnoj produkcii v limnicheskikh jekosistemah*]. Algae and aquatic environment. – Bristol: Biopress, 1988. P. 205-224.
- 27 Bouillon V.V. Laws of primary production in the limnetic ecosystems. Author's abstract. Leningrad, 1985. P. 32.
- 28 Naumenko M.A. Eutrophication of lakes and reservoirs [*Evtrofirovanie ozer i vodohranilishh*]. Textbook. St. Petersburg : RSHMU, 2007. P. 100.