

---

---

**WATER QUALITY AND PROTECTION:  
ENVIRONMENTAL ASPECTS**

---

---

## **Assessing the State of the Aquatic Ecosystem of the Bureya Reservoir Based on Analysis of Phytoplankton Community**

**L. A. Medvedeva<sup>a</sup>, T. V. Nikulina<sup>a</sup>, and S. E. Sirotskii<sup>b, †</sup>**

<sup>a</sup> *Institute of Biology and Soil Sciences, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
prosp. Stoletiya Vladivostoka 159, Vladivostok, 690022 Russia*

*e-mail: medvedeva@ibss.dvo.ru*

<sup>b</sup> *Institute of Water and Ecological Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
ul. Kim Yu Chena 65, Khabarovsk, 680063 Russia*

Received June 23, 2012

**Abstract**—Data on the species composition and development dynamics of phytoplankton complexes in the newly constructed Bureya Reservoir are given. Reservoir phytoplankton has been found to contain 119 alga species (121 taxa, considering the varieties) from nine divisions. Alga species composition, their abundance and biomass, and the saprobic characteristic of species were used to evaluate the environmental state of the reservoir. Reservoir water was classified as “nearly pure” and “weakly polluted”, belonging to the II–III purity class. The low values of phytoplankton abundance and biomass allow the Bureya Reservoir to be classified as an oligotrophic water body.

**Keywords:** Bureya Reservoir, alga, species composition, water quality

**DOI:** 10.1134/S0097807815020074

### INTRODUCTION

The objective of this study is to assess the current sanitary–biological and ecological state of the newly constructed Bureya Reservoir and the Bureya R. basin based on the qualitative composition and quantitative distribution of algae as a result of construction of the Bureya HPP.

The construction of the Bureya HPP has a long history. First reconnaissance surveys were carried out in 1932. Construction and installation works began in 1982; however, the construction process was frozen because of the general economic recession. It is only in the late 1990s that the financing of construction was resumed, resulting in that the erection of Bureya HPP dam has been finished by 2002 and the reservoir has been partly filled by this time. The first hydropower unit at the Bureya HPP was commissioned in June 2003, and the last, sixth, unit, in October 2007 [4]. The Bureya HPP is a high-head hydropower plant, and its reservoir is of canyon type. Some characteristics of the Bureya HPP are given in Table 1.

The objective of the hydrobiological studies near the Bureyskaya HPP included the identification of phytoplankton species composition in the Bureya Reservoir; the assessment of its distribution over the water area; the evaluation of quantitative characteristics of algae; the identification of indicator organisms

for organic pollution; and sanitary–biological assessment of reservoir water quality.

### BRIEF PHYSIOGRAPHIC CHARACTERISTIC OF THE STUDY AREA

The Bureya HPP is situated in the middle reaches of the Bureya R. (Fig. 1). The first power site is situated 174 km upstream river mouth. Talakan Settlement was constructed near HPP dam. The Bureya Reservoir that has formed here lies in two administrative units: Amur oblast and Khabarovsk Krai.

The Bureya R. is a major tributary of the Amur. The source of the river (Pravaya Bureya and Levaya Bureya) lies at the elevation of 560 m above sea level in branches of the Ezop and Duse-Alin ridges. The length of the Bureya from the source of the Right Bureya is 739 km, its total drainage area is 70700 km<sup>2</sup>. The Bureya empties into the Amur at a distance of 1666 km from its mouth [17].

The river basin area lies between the wet coastal regions of the Pacific in the east and continental areas of East Siberia and Mongolia in the west; hence the clear continental features of the climate and its monsoon character. Bureya R. drainage area is the wettest part of the Amur basin; the river nourishment is mostly due to summer rains, their share averaging 50–70%. Snow nourishment accounts for 10–20% of the annual runoff, while groundwater discharge accounts for 10–30% of it. In warm season, floods are frequent,

---

<sup>†</sup> Deceased.

their number in a season reaching 10–12. The highest floods are recorded in July–August. Monsoon showers can cause catastrophic floods with water level rising by 5–6 m every day. The mean annual precipitation reaches 911 mm. Many-year observation data show the mean annual water temperature in different parts of the Bureya R. to vary within 4.1–6.1°C and the mean summer temperature to be 11.0–15.3°C. Maximal water temperature reaches 26–28°C. River water starts cooling in August–September. Freeze-up begins in late October–mid-November. The mean number of days under ice is 170; ice thickness is in excess of 1 m almost everywhere [17].

Scientists believe that the regulation of Bureya will cause changes in the climate with a tendency toward its warming and an increase in air humidity. It can be seen even now that, once the reservoir was constructed, the summer is cooler and the winter is warmer; no ice forms in the river in November because of water discharge from the reservoir [5]. The hydrochemical regime of the Bureya Reservoir in the first years of its filling was forming due to the runoff of the Bureya and Tyrma rivers and the natural conditions of the basin [20]. In the early years of reservoir filling, water in summer showed maximal concentrations of ammonium nitrogen, total iron, and organic matter (because of predominantly snow nourishment) (Table 2). As shown by studies, the concentrations of dissolved oxygen and ions of potassium, sodium, calcium, and magnesium, as well as chloride, hydrocarbonate, an sulfate ions never exceeded the appropriate MAC values.

## MATERIALS AND METHODS

In the summer of 2003, researchers from the Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Institute of Biology and Soil Sciences FEB RAS, and Hydrometeoservice of Khabarovsk City carried out the first algological study of the water area of the Bureya Reservoir, thus laying down the foundation for monitoring studies of reservoir water conditions. In 2003, water samples were taken at two sections: 200 m and 8 km upstream of Bureya HPP dam; in 2004–2007, the samples were taken at five sections: 200 m upstream HPP dam (section 1), 8 km upstream HPP dam (section 2), against Sektagli R. mouth (section 3), 2 km upstream Tyrma R. mouth in the Bureya R. (section 4), and 2 km upstream of the mouth in the Tyrma R. (section 5) (Fig. 2). Phytoplankton samples were taken at sections 3, 4, and 5 in the center of the reservoir and at sections 1 and 2 in the center and at the left and right shores from depths of 1 and 2 m, from mid-depth, and at reservoir bed. Water samples, taken by a bathometer (2 L), were filtered through Apshtein net made of mill kapron gauze no. 77. The samples were fixed by 4% formaldehyde solution. The total number of taken and treated phytoplankton samples was 268.

**Table 1.** Main technical characteristics of the Bureya HPP

Characteristic	Value
Dam height	140 m
Maximal static head	122 m
Total reservoir storage	20.94 km <sup>3</sup>
Active storage capacity	10.3 km <sup>3</sup>
Normal reservoir water surface (NRWS)	256 m
Top of surcharge storage (TSS)	263.4 m
Top of dead storage (TDS)	236 m
Reservoir surface area at NRWS	750 km <sup>2</sup>
Surface area at TDS	400 km <sup>2</sup>
Maximal length of the reservoir	~224 km
Installed plant capacity	2010 MW
Normal annual hydropower generation	7.1 billion kWh
Number of units	6

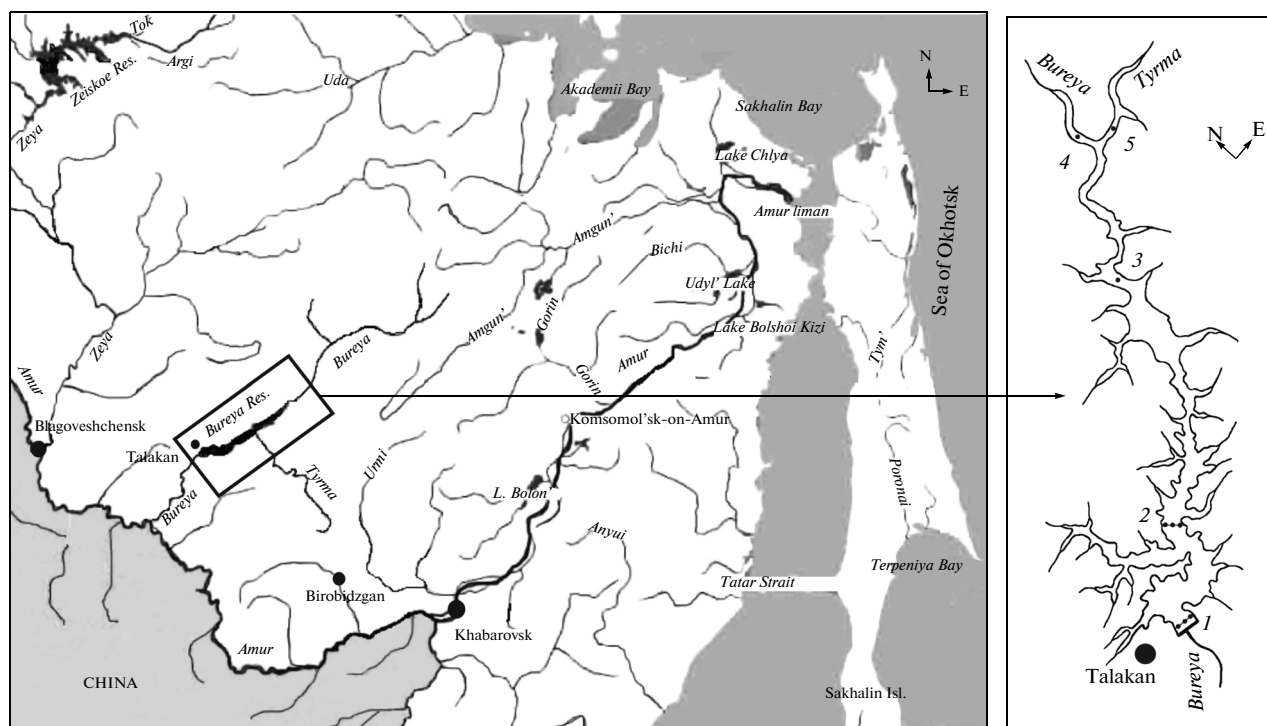
The material was analyzed under microscopes Amplival (Zeiss) and Alphaphot-2 YS-2 (Nikon) with magnifications of 400 and 1200. The processing of materials followed standard procedures using domestic and foreign keys and atlases. Permanent preparations were made by peroxide method for identifying diatom algae [1, 24]. Occurrence frequency was evaluated for each species by a six-point scale with 1 point implying isolated cases; 2 points, rare occurrence; 3 points, rather common; 4 points, frequent; 5 points, very frequent; and 6 points, mass occurrence [6]. Quantitative samples were inspected in a counting cell, where alga cell dimensions were also measured. Next, the abundance (*N*) of alga cells, thous. cell/L, and their biomass (*B*), mg/L, were calculated.

Sanitary–biological analysis of water quality followed Pantle and Buck in Sladchek modification [7, 18, 23]. Saprobity indices were calculated based on lists of indicator organisms [2, 3, 19]. The existing system of water quality assessment by biological characteristics based on evaluated saprobity indices gives an idea about the pollution of the examined reach of the watercourse and characterizes the self-purification zone of the water body, corresponding to the class of water purity. The system of water quality assessment by algae includes 5 major self-purification zones, corresponding to saprobity degrees (including 16 subzones) and 5 classes of water purity [18]. The ecological state of a water body is largely determined by the abundance and biomass of developing organisms. The same data are used to assess water body productivity.

## RESULTS OF STUDIES

The first results of studies of phytoplankton in the Bureya Reservoir were published in [9, 13–15, 22].

Studies of the Bureya Reservoir established the species composition of the algae inhabiting its water



**Fig. 1.** Schematic map showing the position of the Bureya basin in Russian Far East. Schematic positions of sections in the Bureya Reservoir.

mass. Overall, during the five years of studies, 119 alga species (121 taxa with varieties taken into account) were identified, belonging to nine divisions: Cyanoprokaryota (8), Euglenophyta (2), Cryptophyta (3), Dinophyta (2), Chrysophyta (7, 8 with a

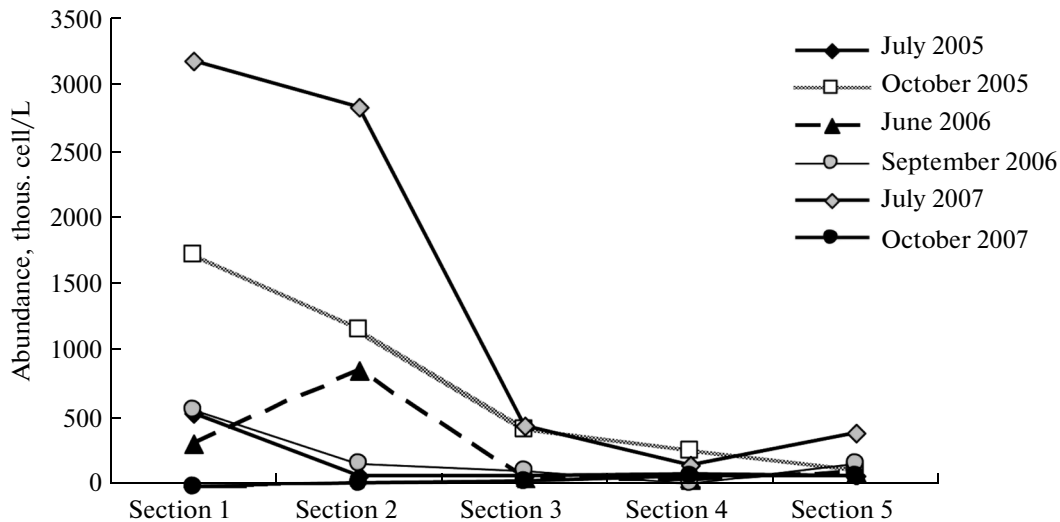
variety), Bacillariophyta (52, 53 with a variety), Xanthophyta (2), Rhodophyta (1), Chlorophyta (42). Dominating species were diatom algae *Asterionella formosa* Hass., *Stephanodiscus hantzschii* Grun., and *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., yellow-green algae *Dinobryon bavaricum* Imh., *D. divergens* Imh., and green algae *Monoraphidium tortile* (W. West et G.S. West) Kom.-Legn., *Schroederia setigera* (Schröd.) Lemm., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. Diatom and green algae showed the widest species diversity.

**Table 2.** Some mean monthly water characteristics of the Bureya Reservoir (the top number is for 2004, the bottom number is for 2005)

Month	O <sub>2</sub> , mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/L	Fe <sub>tot</sub> , mg/L	Mineraliza- tion, mg/L
June	8.0	0.98	0.42	20.8
	8.1	0.73	0.24	21.8
July	8.1	0.70	0.38	21.7
	7.0	0.68	0.27	26.4
August	7.2	0.33	0.30	30.4
	7.7	0.35	0.27	26.1
September	9.1	0.63	0.33	28.9
	7.4	0.45	0.28	32.2
October	9.5	0.49	0.25	24.0
	7.2	0.34	0.29	29.8
March	—	—	—	—
	10.8	0.26	0.28	41.0

**Year of 2003.** A well-developed complex of planktonic algae (yellow-green *Dinobryon bavaricum* and *D. divergens* and diatom *Asterionella Formosa*) was recorded in the surface water layer at section 1 (200 m upstream of the dam). Phytoplankton complex was very poor, comprising mostly those three species. The abundance *N* of cells on the surface varied from 36.5 (right side) to 124.8 thous. cell/L (left side). The biomass *B* of algae was 0.018–0.044 mg/L. In the center of the water body (at depths of 17 and 30 m), the algae were nearly absent with only occasional cells observed.

An increase in the number of alga species was recorded on the bed at section 1 because of benthic organisms and settled valves of planktonic diatoms. Alga abundance *N* at the left side of the reservoir was rather high—78.4 thous. cell/L (10.2 and 10.7 thous. cell/L, in the center and at the right side, respectively). The biomass *B* was 0.15 mg/L due to the large-cell *Tabellaria*



**Fig. 2.** Dynamics of alga abundance in reservoir sections (depth of 2 m). Here and in Figs. 3, 4, the values for the first two sections are averaged over three verticals.

fenestrata (Lyngb.) Kütz. The abundance was low (Table 3).

At section 2 (8 km upstream of the reservoir dam), the flow of the Bureya R., which was filling the reservoir, was considerable; therefore, the complex of planktonic algae has not formed yet. Only cysts of algae from *Dinobryon* genus and some species of benthic-plankton diatoms (*Synedra acus* var. *radians* (Kütz.) Hust., *Tabellaria flocculosa*) were recorded in surface water layers, into which they seem to have been raised from the bed by water flow. Algae abundance  $N$  varied from 1.08 to 6.2 thous. cell/L, while their biomass  $B$  was relatively small, varying from 0.001 to 0.07 mg/L. In the middle layers of water mass, there were either no algae or a few diatom valves having been brought by the flow. At reservoir bed in this section, a few specimens of benthic algae were recorded, which also could have been brought by water flow. On the right side of the reservoir, the benthic complex contained filamentous forms—blue-green *Lyngbya* sp. and green *Microspora stagnorum* (Kütz) Lagerh.; therefore, alga abundance  $N$  in this point abruptly increases to reach 228.1 thous. cell/L (Table 3).

**Year of 2004.** In section 1 (at the dam of the Bureya HPP), cysts of yellow-green algae, planktonic representatives of green algae (*Monoraphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum*), and individual cells of diatoms (*Tabellaria flocculosa*) were found on water surface. The maximal abundance  $N$  of algae at the left shore of the reservoir was 53.13 thous. cell/L, while those in the central part and at the right shore were 11.12 and 9.25 thous. cell/L, respectively. The values of  $B$  varied accordingly: from 0.028 mg/L (left shore) to 0.008 and 0.006 mg/L (the center and the right shore, respectively) (Table 3).

In section 2, typical planktonic species vegetated on water surface: yellow-green alga *Dinobryon divergens*, cysts of yellow-green algae, green planktonic *Monoraphidium tortile* and *Dictyosphaerium pulchellum*, and diatom *Fragilaria* sp. Alga abundance  $N$  was minimal at the left shore of the reservoir (6.9 thous. cell/L); while in the center and at the right shore, it increased to 32.5 and 52.2 thous. cell/L, respectively. Alga biomass varied within very narrow limits (Table 3).

In the surface water layer in section 3 (Sektagli R. mouth), mostly riverine species were recorded, which occur in stone epibioses (blue-green alga *Homoeothrix* sp., diatoms from genera *Achnanthes*, *Gomphonema*, and *Hannaea*, and green alga *Microspora* sp.). The alga composition seems to show a considerable effect of water masses from the Sektagli R.

The surface water layer at section 4 (2 km upstream the Tyrma R. mouth) contained algae of both purely planktonic species (*Dinobryon suecicum* Lemm.), planktonic–benthic species (*Tabellaria flocculosa*), and typical epibioses species: *Achnanthes* sp., *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. Alga abundance values  $N$  were relatively high—95.88, 65.02, and 86.4 thous. cell/L,  $B = 0.285$ , 0.06, and 0.045 mg/L, respectively. No planktonic species were identified in section 5 (Tyrma R. mouth), only individual cells of epibioses species, brought by water flow (*Achnanthes* sp., *Gomphonema* sp., *Synedra ulna*) occurred their.

**Year of 2005.** In late July 2005, the most diverse in terms of species in the phytoplankton of the reservoir were diatom and green algae. Two blue-green algae species—*Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. (608.6 thous. cell/L) and *M. pulverea* (Wood) Forti

**Table 3.** Quantitative phytoplankton characteristics in 2003–2006 (here and in Table 4, the top number is alga abundance, thous. cell/L; the bottom number is biomass, mg/L; the “middle” and “bed” are the depths of sampling during the study period, m; the top and bottom numbers are the maximal and minimal depths, respectively; dash means no samples

Section	Sampling point	July 2003	July 2004	July 2005	September 2005	October 2005	June 2006	September 2006
Section 1	Left side							
	Surface	124.8/0.044	53.13/0.028	30.6/0.014	1051.0/0.084	2254.0/0.192	173.9/0.036	—
	2 m	—	—	285.25/0.006	—	1847.62/0.14	179.27/0.053	—
	Middle, 30/40 m	2.4/0.001	5.87/0.017	12.25/0.010	—	448.2/0.038	173.9/0.036	—
	Bed, 58/75 m	78.4/0.15	6.15/0.007	18.9/0.004	—	435.05/0.026	145.8/0.031	—
	Central part							
	Surface	42.0/0.018	11.12/0.008	227.7/0.061	1227.6/0.105	1960.2/0.165	456.25/0.110	446.04/0.155
	2 m	—	—	1045.75/0.02	—	1786.6/0.172	249.0/0.053	574.2/0.211
	Middle, 30/55 m	3.6/0.006	37.68/0.132	36.4/0.005	—	600.4/0.053	193.8/0.017	81.6/0.019
	Bed, 60/116 m	10.2/0.013	9.45/0.015	54.05/0.016	—	266.4/0.0235	127.75/0.021	77.0/0.019
Section 2	Right side							
	Surface	36.5/0.018	9.25/0.006	246.1/0.024	1164.0/0.101	1107.2/0.091	273.6/0.076	—
	2 m	—	—	297.0/0.438	—	1591.0/0.137	544.0/0.202	—
	Middle, 17–46 m	9.8/0.004	3.47/0.0003	97.5/0.029	—	218.3/0.034	473.4/0.028	—
	Bed, 35/93 m	10.7/0.004	3.3/0.003	23.5/0.006	—	150.67/0.013	124.25/0.018	—
	Left side							
	Surface	1.08/0.009	6.9/0.003	17.6/0.012	1104.1/0.097	1939.5/0.164	170.1/0.012	—
	2 m	—	—	30.1/0.004	—	1474.8/0.126	160.0/0.063	—
	Middle, 27/47 m	1.2/0.001	110.05/0.361	36.0/0.011	—	460.8/0.039	80.0/0.207	—
	Bed, 45/95 m	0.6/0.001	—	143.35/0.002	—	775.8/0.069	227.0/0.058	—
Section 3	Central part							
	Surface	1.3/0.001	32.5/0.023	884.1/0.140	804.75/0.070	1349.4/0.117	1375.6/0.411	264.0/0.093
	2 m	—	—	88.4/0.004	—	906.5/0.077	1006.0/0.455	172.52/0.076
	Middle, 25/46 m	—	5.6/0.004	38.25/0.015	—	165.85/0.014	92.4/0.046	45.9/0.011
	Bed, 50/92 m	4.0/0.003	5.8/0.006	144.0/0.007	—	648.45/0.055	70.0/0.030	4173.5/0.58*
	Right side							
	Surface	6.2/0.07	52.2/0.034	93.1/0.005	1320.7/0.143	1364.8/0.117	309.75/0.067	—
	2 m	—	—	108.65/0.043	—	1162.0/0.102	1425.6/0.438	—
	Middle, 18/44 m	0.3/0.0002	13.0/0.013	30.75/0.026	—	1504.1/0.131	321.1/0.101	—
	Bed, 40/88 m	228.1/0.02	6.4/0.002	48.0/0.035	—	324.95/0.028	191.25/0.072	—
Section 4	Surface	—	118.8/0.01	114.7/0.122	140.3/0.064	91.2/0.014	796.87/0.069	137.25/0.038
	2 m	—	—	71.3/0.062	83.6/0.022	—	430.03/0.042	122.5/0.021
	Middle, 20/40 m	—	186.83/0.011	121.6/0.064	77.55/0.058	—	233.05/0.02	32.3/0.019
	Bed, 41/80 m	—	9.9/0.008	105.6/0.0925	47.7/0.014	—	110.2/0.009	23.65/0.003
	Surface	—	95.88/0.285	57.75/0.02	16.8/0.066	36.75/0.003	16.8/0.066	72.85/0.021
	2 m	—	—	52.5/0.035	87.4/0.046	—	87.4/0.046	30.81/0.018
	Middle, 15/31 m	—	65.02/0.06	29.45/0.026	21.45/0.009	—	21.45/0.009	26.13/0.01
	Bed, 30/65 m	—	86.4/0.045	485.8/0.116	38.85/0.019	—	38.85/0.019	12.24/0.012
	Surface	—	29.44/0.052	90.75/0.083	91.65/0.008	27.2/0.004	—	160.58/0.089
	2 m	—	—	103.95/0.083	75.9/0.067	—	—	168.3/0.062
Section 5	Middle, 12/31 m	—	113.4/0.25	74.4/0.023	250.0/0.416	—	—	42.05/0.008
	Bed, 25/62 m	—	45.5/0.034	351.9/0.36	413.0/0.514	—	56.55/0.005	1080.4/1.37*

\* Samples that were taken with bathometer scooping some bottom silt.

emend. Elenk. (462.0 thous. cell/L)—showed a high  $N$ , while their  $B$  was low because of their small cell volume.

Diatom alga *Stephanodiscus hantzschii* dominated in all samples of September and October series. This species, which is widespread in eutrophic water bodies, belongs to alpha-mesosaprobionts—indicators of heavily polluted waters ( $s = 2.7$ ) [2, 19]. In September, in addition to *S. hantzschii*, representatives of green-alga division from protococcus group also occurred, including *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum triangulare* (Chod.) Kom., *Pediastrum tetras* (Ehr.) Ralfs, *Botryococcus braunii* Kütz., and species of *Scenedesmus* genus. The abundance  $N$  of algae in all samples was determined by the number of cells of *S. hantzschii*. In the surface layer in section 1,  $B$  varied from 1051.0 to 1227.6 thous. cell/L; its values were similar in section 2, except for the central part of the section, where it decreased to 804.75 thous. cell/L (Table 3). This decrease may be due to the effect of the major water flow.

Alga abundance  $N$  was found to decrease toward the upper part of the reservoir. With increasing flow velocity, the abundance of planktonic algae decreased; in section 3 (against the Sekgagli R. mouth),  $N$  decreased to 91.2 thous. cell/L, after which it decreased to 8.875 thous. cell/L in the riverine reach of the Bureya R. (against Chekunda Settl.). The value of  $B$  for algae was very low because of the small cell size of the dominating species (the mean volume of one cell of *S. hantzschii* was  $\sim 85 \mu\text{m}^3$ ). Overall, the values of  $B$  were not large, and, even in the first two sections, where alga  $N$  was maximal, they varied from 0.0705 to 0.143 mg/L. In section 3, the values of alga  $B$  decreased almost by half, while in sections 4 and 5, their  $B$  was determined by the effect of water flows of the rivers of Tyrma and Bureya.

In all samples of the October series of 2005, diatom algae *S. Hantzschii* dominated overwhelmingly. The abundance of green protococcus algae decreased appreciably, though *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pediastrum tetras*, and cells of species from genus *Scenedesmus* were recorded occasionally in some sections. Individual cells of diatoms *Aulacoseira* sp., *Asterionella formosa* occurred sometimes. The values of alga  $N$  and  $B$  in the surface layer somewhat increased to reach 1107.22–2254.0 thous. cell/L and 0.091–0.192 mg/L, respectively (Table 3). In previous years, the species *S. hantzschii* was not recorded at all, and its abrupt appearance and dominance in the autumn of 2005 can be an indication of an unstable character of phytoplankton groups in the reservoir and a deterioration of its water quality.

**Year of 2006.** In July, the diversity of algae and their  $N$  (173.9–456.25 thous. cell/L) in section 1 (200 m from the reservoir dam) were largest in the top and middle water layers (Table 3). The dominant species were *Asterionella formosa* (diatoms) and *Cryptomonas* sp. (cryptophytes).

Section 2 (8 km upstream the dam) showed the most diverse alga composition. More common than others were diatoms *A. formosa*, *S. hantzschii*, *T. flocculosa* and yellow-green alga *Dinobryon* sp. In this section, alga  $N$  in the surface water layer and at depth of 2 m was highest: 160.0–1425.6 thous. cell/L. The values of alga  $B$  varied similarly. In sections 3–5, the composition of dominating species did not change, though in bottom layers, they were supplemented by *Hannaea arcus* and *Achnanthyidium minutissimum* (Kütz.) Czarn. The values of alga  $N$  and  $B$  here decreased appreciably. A specific feature of the June phytoplankton was the stable presence of yellow-green algae (species of *Dinobryon* genus and their cysts) throughout the water area and cryptophyte algae (*Cryptomonas* sp.) in the middle and lower parts of the reservoir.

In September, surface water layer in section 1 showed maximal alga abundance with a high diversity of vegetating groups. A considerable share in alga  $N$  was due to diatom *S. hantzschii* and cryptophyte *Cryptomonas* sp. Green algae were also diverse, though they were represented by individual specimens: *Coenochloris korschikoffii* Hind., *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. West et G.S. West, *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *Dictyosphaerium subsolitaria* van Goor, *Scenedesmus* spp., *Staurodesmus dejectus* (Bréb.) Teil.

The total  $N$  of algae in surface water layer reached 446.04 thous. cell/L; however, even higher values were recorded at depth of 2 m: 574.2 thous. cell/L. The value of alga  $N$  decreased with depth (77.0 thous. cell/L). Alga  $B$  varied in proportion to that: its value was 0.155 mg/L in surface water layer, increased to 0.211 mg/L at 2 m, and further decreased with depth to 0.019 mg/L. Section 2 showed similar species composition with predominance of *Cryptomonas* sp. and *S. hantzschii*, while the species diversity of green algae decreased. In this section alga  $N$  in surface water layer was highest (264.0 thous. cell/L).

During water sampling by a bathometer, a layer of sediment was scooped from reservoir bed; therefore, the plankton sample contained algae that had settled onto the bed. The result was that the values of alga  $N$  and  $B$  were maximal here; however, they were not taken into account in the analysis of general regularities.

In sections 3–5, the character of alga distribution in water mass was similar. *Cryptomonas* sp. and *S. Hantzschii* also dominated in surface water layers. Alga  $N$  in the surface water layer was lower than that in sections 1 and 2, varying from 72.85 to 160.58 thous. cell/L; at depth of 2 m, it varied from 30.81 to 168.3 thous. cell/L. Minimal values were recorded in bottom samples (12.24–23.65 thous. cell/L), except for section 5 (Tyrma R.), where a layer of bottom sediments was also scooped during sampling. The values of alga  $B$  in surface water layers were relatively low (from 0.021 to 0.089 mg/L), their values also decreasing with depth (Table 3).

**Table 4.** Quantitative phytoplankton characteristics in 2007 (In sections 1 and 2, samples were taken only in the central part)

Section	Sampling point	July	October
Section 1	Surface	961.0/0.212	4.5/0.001
	2 m	3192.0/0.361	–
	5 m	584.5/0.141	6.3/0.0005
	10 m	2002.0/0.523	–
	Middle, 50/60 m	144.9/0.032	–
	Bed, 100/100 m	1818.3/0.103	2.725/0.002
Section 2	Surface	4752.0/0.577	20.6/0.012
	2 m	2845.8/0.335	27.675/0.012
	Middle, 43/50 m	176.9/0.038	5.3/0.002
	Bed, 97/90 m	2159.0/0.309	8.625/0.022
Section 3	Surface	573.5/0.145	26.775/0.014
	2 m	450.0/0.129	38.85/0.012
	Middle, 36/45 m	356.5/0.099	8.85/0.001
	Bed, 77/90 m	123.75/0.313	–
Section 4	Surface	294.0/0.026	17.5/0.005
	2 m	163.2/0.053	75.0/0.016
	Middle, 30/35 m	54.0/0.035	4940.9/0.013
	Bed, 65/70 m	630.0/0.028	34.25/0.009
Section 5	Surface	598.3/0.476	40.7/0.014
	2 m	405.0/0.202	90.4/0.011
	Middle, 23/28 m	48.0/0.04	18.125/0.002
	Bed, 46/57 m	129.5/0.054	53.65/0.008

Overall, in 2006, maximal values of alga *N* and *B* were recorded in section 1. Diatoms and yellow-green alga *Dinobryon* sp. dominated in summer. Autumn phytoplankton samples showed the predominance of *Cryptomonas* sp. and *S. hantzschii*. Such abrupt changes in alga species composition suggest the instability of phytoplankton groups in the reservoir and, possibly, reflect the seasonal changes in complexes due to water temperature variations.

**Year of 2007.** Phytoplankton composition in July 2007 showed the presence in all sections of cryptophyte algae (*Cryptomonas* sp.), cysts of yellow-green algae and *S. hantzschii* among diatoms. In section 1, the species diversity of algae, their *N* (3192.0 thous. cell/L) and *B* (0.3612 mg/L) were maximal at depth of 2 m.

Section 2 showed maximal alga *N* (4752.0 thous. cell/L) and *B* (0.5767 mg/L) in surface water layer. In section 3, diatoms and green algae *S. hantzschii* and *Sphaerocystis planctonica* (Korsch.) Bour., dominated in the majority of samples along with cysts of yellow-green algae (supposedly, from *Dinobryon* genus). Alga *N* appreciably decreased in this part of the reservoir, where it varied from 123.75 to 573.5 thous. cell/L. Alga *B* varied from 0.099 to 0.313 mg/L.

In section 4, *N* and *B* of algae were minimal compared with other sections, varying within 29.45–485.8 thous. cell/L and 0.0199–0.1225 mg/L, respectively (Table 4). Samples in section 5 contained representatives of genera *Peridinium* and *Dinobryon*. Alga *N* varied from 48.0 to 598.3 thous. cell/L, and *B*, from 0.04 to 0.4756 mg/L. Benthic and benthic-planktonic alga species were recorded near the mouth of the Tyrma R.

In October 2007, the values of *N* and *B* in section 1 were minimal. On water surface, alga *N* was 4.5 thous. cell/L with *B* approaching zero: 0.0005–0.001 mg/L. Section 2 showed higher *N* values (5.3–27.67 thous. cell/L), following a quite logical scheme: maximal values at depth of 2 m, next a drop in *N* with some increase at the bed due to cells of benthic algae. An increase to 0.012 mg/L was recorded in *B*. Water samples at those two sections were taken under strong wind, which seemed to be mixing water masses, resulting in a disturbance of the normal state of phytoplankton complexes.

Water samples in sections 3–5 were taken in the daytime, a day before the storm; therefore, the estimates of alga *N* and *B* are quite reliable. Overall, the maximal values of *N* were recorded in those sections at a depth of

2 m: from 38.85 (section 3) to 90.4 thous. cell/L (section 5). An appropriate increase was recorded in alga *B* values. The peak in abundance (up to 4940.9 thous. cell/L) in the middle of section 4 was due to the mass development of blue-green alga *Aphanothece clathrata* W. West et G.S. West; however, no increase was recorded in alga *B* because of the small cell size of this species.

October phytoplankton samples showed considerable depletion of alga species composition and an abrupt drop in alga *N* and *B*. The most stable species were found to be cryptophyte alga *Cryptomonas* sp. and diatom *S. hantzschii*; however, even those species were occasional. An abrupt drop in the characteristics can be attributed to the low water temperature in autumn. Mid-October was the latest time of reservoir surveying: in previous years, such surveys were carried out in late September—early October. Thus, a moment of natural decrease in alga *N* and *B* was identified, which was due to the cessation of their vegetation period. The least values of alga *N* and *B* were recorded in section 1. Those data contradict the results of 2003–2006: in the previous years, maximal *N* and *B* were often recorded just in section 1. This fact can be explained by two causes: a disturbance of the normal vegetation state of phytoplankton complexes because of intense water mixing by wind and by the development of typical planktonic alga groups recorded in section 1 since 2003, while nearly no benthic species were recorded here. Against the background of natural decline in the vegetation activity of phytoplankton algae in the observation period, we see that in all other sections, the increases in the quantitative phytoplankton characteristics were due to the occurrence of occasional benthic forms.

## DISCUSSION OF RESULTS

### *Dynamics of Phytoplankton Complexes*

The species composition of planktonic alga in the Bureya Reservoir includes 119 species from nine divisions. A part of this amount is benthic and benthic–planktonic species having been brought into plankton alga groups by water flow. In the first year of studies (and the first year of formation of phytoplankton complexes), dominating in plankton were diatom *Asterionella Formosa* and yellow-green algae *Dinobryon bavaricum* and *D. divergens*. In the summer of the next year, plankton was found to contain cysts of yellow-green algae (possibly, of the same *Dinobryon* species) and planktonic green algae *Monoraphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum*. One more year later, summer samples of 2005 showed the predominance of species of *Microcystis* genus (blue-green). In the autumn (September and October), diatom alga *S. hantzschii* dominated in plankton, while it has been never identified here in earlier studies. Green algae occurred sometimes in planktonic groups in September; however, they

became much rarer in October, when samples were often found to contain the only species—*S. hantzschii*. Later, the dominating species included the cryptophyte alga *Cryptomonas* sp. It should be mentioned also that, while in the first years of studies, *Cryptomonas* sp. was recorded only in autumn, since 2006 it occurred in summer as well. Thus, a succession of planktonic complexes of the reservoir was clearly developing, accompanied by changes in the species composition.

The quantitative characteristics of plankton also changed from year to year. Plankton groups were identified at HPP dam even in the first year, though their composition was very poor. The quantitative characteristics of phytoplankton were low in the first two years of reservoir operation, the second year showing especially low values. It was only in the third year that quite formed planktonic groups were recorded with appreciably greater *N* and *B*. This seems to be due to the fact that, with an increase in its volume and horizontal dimensions in the course of filling, the reservoir acquires the character of a lentic or low-flow water body, in which benthic communities, typical of flowing water, are being replaced by planktonic complexes.

The results obtained for surface samples showed a random scatter of values, so the dynamics of phytoplankton characteristics was plotted using data from depth of 2 m. Figure 2 shows the dynamics of annual values of planktonic alga *N* at depth of 2 m, excluding data on the first two years of studies. A clear decrease in alga *N* can be seen in the direction from the near-dam part toward upstream areas. A considerable difference can be seen to exist between alga *N* in summer and autumn. Maximal values of alga *N* were recorded in the autumn of 2005.

Figure 3 gives the dynamics of alga *B* for individual sections. The values of *B* are generally very small and varying. The values as low as those characterize the Bureya Reservoir as an oligotrophic water body.

### *Analysis of Water Quality by the Saprobity of Algae*

In 2003, analysis of reservoir water quality by alga saprobity showed that the values of saprobity index varied widely. Clearly, this was due to the small number of alga complexes identified in the examined points, rather than by an abrupt change in water quality. In some cases, the index was impossible to evaluate because of the complete absence of algae or organisms being examined. However, lower indices were generally observed in section 2, where the effect of pure river water is considerable. The saprobity index varied here from 0.3 to 1.2 with a decrease at the reservoir bed. In section 1, the indices were somewhat higher, varying from 1.7 to 0.81 (Table 5). The obtained values of indices generally correspond to oligosaprobic zone, water quality class II, i.e., “nearly clear” water.

Analysis of reservoir water quality in terms of alga saprobity in 2004 also showed this index to vary widely:



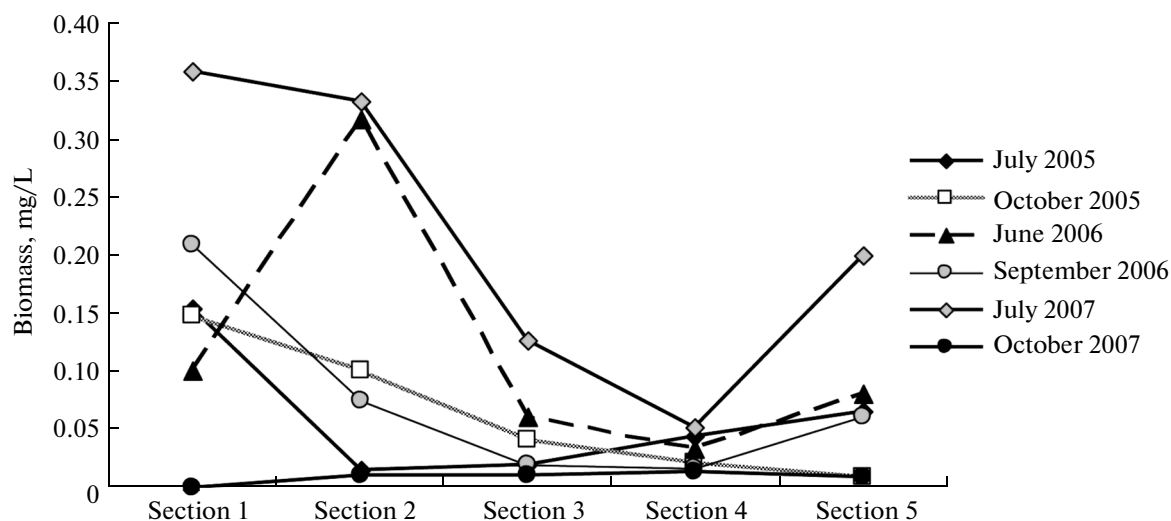


Fig. 3. Alga biomass dynamics in reservoir sections (depth of 2 m).

from 0.84 to 2.0, which corresponds to oligo- and beta-mesosaprobic zones, classes II and III of water quality (“nearly pure” and “weakly polluted” waters).

In July 2005, the values of saprobity indices in reservoir water area varied from 1.24 to 2.2. According to those data, the water of the Bureya Reservoir belongs to oligo- and beta-mesosaprobic zones, which corresponds to purity classes II–III; therefore, the waters are classified as “pure” and “weakly polluted.”

In the autumn of 2005, the values of saprobity indices in major sections varied from 2.02 to 2.7. Those high values of indices by water purity indices correspond to beta- and alpha-mesosaprobic zones, classes III–IV of water purity (“weakly polluted” and “heavily polluted” waters). However, it should be mentioned that in this period, dominating in planktonic alga complexes was the species *S. hantzschii*, which is an alpha-mesosaprobiont ( $s = 2.7$ ); its presence determines high values of water quality index. We can suppose that water quality deterioration is due to the insufficient formation of phytoplankton groups and their mon-

odominance. However, the high estimated water quality characteristics in the autumn of 2005 suggest, most likely, an increase in the ecological flexibility of the species *S. hantzschii*, rather than an abrupt deterioration of water quality.

Analysis of water quality in the Bureya Reservoir in terms of alga saprobity showed that the values of saprobity indices in different sections varied in 2006 from 1.0 to 2.05. Variations in the values of indices show no regularity, except for the water in section 4 having the least values (corresponding to the purest water). Water of the Bureya Reservoir can be referred to oligo- and beta-mesosaprobic zones, purity classes II–III (Table 5). The saprobity indices calculated for 2006–2007 are not high.

Water quality in July 2007, evaluated by saprobity indices  $S$ , varied from 0.68 to 2.3. According to the obtained values of index  $S$ , water of the Bureya Reservoir belongs to oligo- and beta-mesosaprobic zones, purity classes II and III and can be classified as “pure” and “weakly polluted.” Waters in sections 4 and 5 are

**Table 5.** The values of saprobity indices in reservoir sections (data only for surface samples; “none” means no indicator organisms; dash means no samples; mean values of the index are given for sections in which three points were sampled)

Period	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
July 2003	1.4	0.6	–	–	–
July 2004	1.37	1.9	0.3	1.2	1.9
July 2005	1.75	1.57	1.55	1.39	1.32
September 2005	2.61	2.26	2.44	2.7	2.7
October 2005	2.56	2.63	2.56	2.7	2.7
June 2006	2.02	1.75	1.83	1.77	1.71
September 2006	1.97	1.9	1.98	1.0	1.76
July 2007	1.77	1.98	1.33	1.05	1.36

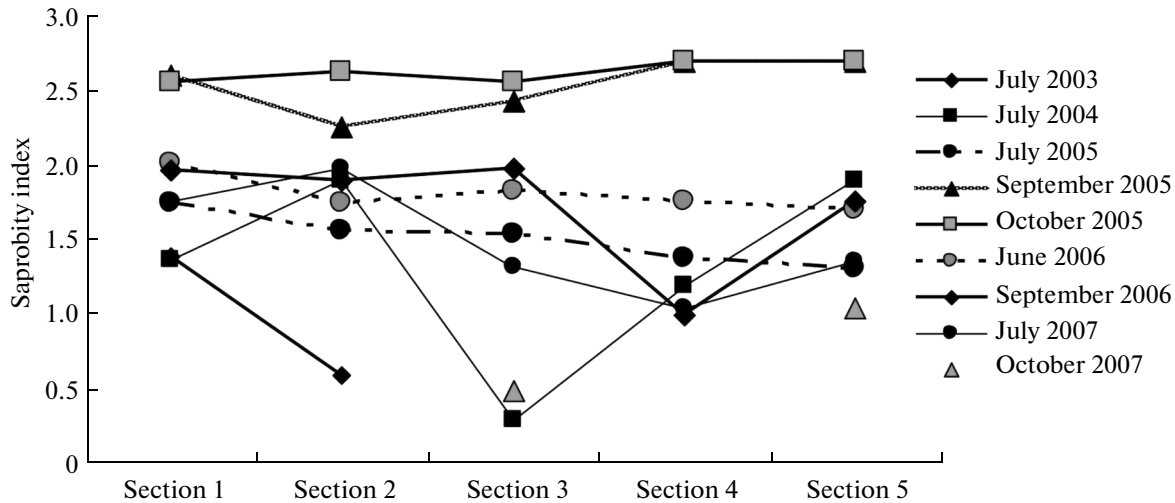


Fig. 4. Variations of saprobity index  $S$  in reservoir sections.

most pure, referring mostly to purity class II. In October 2007, sanitary–biological analysis was hampered by the fewness of algae, the absence of indicator organisms, and often by the absence of algae. The saprobity indices calculated for individual areas showed a wide scatter of values (from 0.2 to 2.3) with water quality varying from purity class I to III. Figure 4 shows considerable variations in the values of water saprobity index over reservoir sections. It should be mentioned that the seasonal dynamics of phytoplankton and the poor planktonic alga complexes affected the saprobity indices; however, the index tends to decrease in reservoir sections remote from the dam, where the effect of pure river water is stronger. The highest indices were recorded in the autumn of 2005.

Studying the Bureya Reservoir was accompanied by the examination of water quality and the environmental state of watercourses in the middle part of the Bureya R. basin (the rivers of Bureya, Urgal, Chegdomyn, Soloni, El'gandzhya, Niman, Nimakan, Yagdyn'ya, and Dublikan and Mal'yi Eric spring), as well as watercourses emptying directly into the Bureya Reservoir (the rivers of Obdergan, Bol'shoi Chalbach, Takantsy, Talaya, Tuyun, and Tyrma). The obtained results suggest all examined watercourses to be in a good environmental state to carry nearly pure water, which, according to the system of water quality assessment by alga saprobity, have indices from 1.05 to 1.87 and refer to oligo- and beta-mesosaprobic self-purification zones, water purity classes II–III—“nearly pure” or “weakly polluted” waters, which show weak natural pollution [8, 10–12, 16, 21].

## CONCLUSIONS

The identified species composition of algae, estimates of their quantitative characteristics ( $N$  and  $B$ ), water saprobity indices for each area examined in the

reservoir, and the determined zones of water saprobity and purity class are used to give a general estimate of the environmental conditions of water resources in the Bureya Reservoir over five-year period.

The species composition of phytoplankton in the Bureya Reservoir comprises 119 alga species (121 within-species taxa) from nine divisions. The largest species diversity is typical of diatom and green algae. The dominating forms include diatom algae *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus hantzschii*, and *Tabellaria flocculosa*, yellow-green algae *Dinobryon bavaricum*, *D. divergens*, and green algae *Monoraphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum*, and cryptophyte alga *Cryptomonas* sp.

In the first years of studies, the aquatic ecosystem of the Bureya Reservoir was passing through the initial stages of its formation. Reservoir phytoplankton showed a poor species composition, and alga  $N$  and  $B$  were very small, even in the surface water layer. Sections 1 and 2 (at HPP dam and 8 km upstream of the dam) showed the largest values of alga  $N$  and  $B$ ; it is here that planktonic groups of algae were observed as early as 2003. The abundance of planktonic algae decreased with flow velocity increasing toward the upstream part of the reservoir; their  $N$  in sections 3–5 was an order of magnitude less than that in section 1. The maximal  $N$  of algae has increased to 4752.0–4940.9 thous. cell/L, and the values of  $B$  have reached 0.523–0.577 mg/L.

With its filling and its volume increasing upstream, the reservoir acquires the character of a low-flow water body, in which benthic communities, typical of lentic waters, are replaced by planktonic alga complexes. The process of restructuring of riverine complexes into groups typical of lentic water bodies has almost finished by now. However, the aquatic ecosystem is still very unstable, as can be seen from the observed succession of planktonic complexes of the reservoir, which is

accompanied by changes in its components and dominating forms.

Analysis of water quality in the reservoir of the Bureya HPP in terms of alga saprobity showed that the values of *S* vary within wide limits (from 0.3 to 2.7). The smallest indices were generally observed in reservoir sections remote from the dam, where the effect of pure river water is stronger. The water of the Bureya Reservoir can be classified as “nearly pure” and “weakly polluted,” belonging to oligo- and beta-mesosaprobic zones, classes II and III of water purity. The increase in water saprobity index to 2.7, recorded in the autumn of 2005, is due to the mass development of diatom *Stephanodiscus hantzschii*, which has a high ecological valence.

The streams that feed the reservoir are in good ecological state, carrying waters of the II and III purity classes—“nearly clear” or “weakly polluted” waters.

The low water temperature, which persists even in summer, and the existing flow regime hamper mass alga vegetation; however, the state of the ecosystem, which has not formed completely and remains not quite stable, requires monitoring. The changes in alga species composition and their quantitative characteristics, revealed by the authors, can serve as good characteristics of changes in the ecological conditions of watercourses.

All data presented in the paper have been obtained for the first time for the basin of the Bureya HPP reservoir, and now they can serve as a basis for the further monitoring of its state.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Bureya HPP, a division of OAO RusHydro, under the first stage of social–environmental monitoring of the zone of influence of the Bureya HPP; Russian Foundation for Basic Research, project no. 09-04-98544, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, project nos. 09-III-A-06-179, 09-III-A-06-184; and BSD RAS, project no. 12-1-P30-01.

#### REFERENCES

1. Barinova, S.S., Polymorphism of diatom connective structures, in *Evolutsionnye issledovaniya. Vavilovskie temy* (Evolution Studies: Vavilov Themes), Vladivostok: DVO AN SSSR, 1988, pp. 110–122.
2. Barinova, S.S. and Medvedeva, L.A., *Atlas vodoroslei–indikatorov saprobnosti (rossiiskii Dal'nii Vostok)* (Atlas of Algae–Indicators of Saprobity: Russian Far East), Vladivostok: Dal'nauka, 1996.
3. Barinova, S.S., Medvedeva, L.A., and Anisimova, O.V., *Bioraznoobrazie Vodoroslei–indikatorov okruzhayushchei sredy* (Biodiversity of Algae–Environmental Indicators), Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006, vol. 498.
4. *Bureiskaya GES: na polnyu moshchnost'* (Bureiskaya HPP: At Full Capacity), Talakan: Izd. RusGidro, 2010.
5. Zausaev, V.K., Chepegina, M.V., and Khaliullina, Z.A., Social assessment of the consequences of Bureiskaya HPP construction, in *Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch (Druzhininskie chteniya)* (Scientific Principles of Environmental Monitoring at Reservoirs: Druzhininskie Readings), Iss. 2, Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2005, pp. 25–29.
6. Korde, N.V., Methods for biological studying lake bottom sediments: field studies and biological analysis, in *Zhizn' presnykh vod SSSR* (Life in Freshwaters of the USSR), vol. 4, part 1, M.: AN SSSR, 1956, pp. 383–413.
7. Makrushin, A.V., *Biologicheskii analiz kachestva vod* (Biological Analysis of Water Quality), Leningrad: Zool. Inst. AN SSSR, 1974.
8. Medvedeva, L.A., Algological communities as indicators of integration of a river basin: case study of the Bureya R., in *Nauchnye osnovy sokhraneniya vodosbornykh basseinov: mezhdistsiplinarne podkhody k upravleniyu prirodnyimi resursami* (Scientific Principles of Preservation of Watersheds: Interdisciplinary Approaches to Natural Resources Management), Ulan-Ude: Izd. BNTs SO RAN, 2004, pp. 167–168.
9. Medvedeva, L.A., Sanitary-biological assessment of the state of the Bureiskoe Reservoir in the first year of its filling, in *Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch (Druzhininskie chteniya)* (Scientific Principles of Environmental Monitoring at Reservoirs: Druzhininskie Readings), Iss. 2, Khabarovsk, 2005, pp. 88–91.
10. Medvedeva, L.A., Assessment of the sanitary–biological state of the Bureya R. basin (Russian Far East), in *Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ekosistem* (Bioindication in Monitoring Freshwater Ecosystems), St. Petersburg: Lemma, 2006.
11. Medvedeva, L.A., Structural characteristic of periphyton alga communities in streams in the Bureya R. basin, *Gidrobiol. Zh.*, 2006, vol. 42, no. 6, pp. 22–40.
12. Medvedeva, L.A., Results of algological study of the middle Bureya R. basin, in *Gidroekologicheskii monitoring zony vliyaniya Bureiskogo gidrouzla* (Hydroecological Monitoring of the Zone of Influence of the Bureiskii Hydrosystem), Khabarovsk: Dal'nauka, 2007, pp. 64–80.
13. Medvedeva, L.A., Nikulina, T.V., and Sirotskii, S.E., Biomonitoring of the ecological state of the Bureyskoe Reservoir, in *Regiony novogo osvoeniya: ekologicheskoe problemy i puti ikh resheniya* (Regions of New Development: Environmental Problems and Ways to Their Solution), Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2008, pp. 594–596.
14. Medvedeva, L.A. and Sirotskii, S.E., Phytoplankton of the Bureiskoe Reservoir as a component of monitoring its environmental state (Amur oblast), in *Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ekosistem* (Bioindication in Monitoring Freshwater Ecosystems), St. Petersburg: Lemma, 2006.
15. Medvedeva, L.A. and Sirotskii, S.E., Phytoplankton of the Bureiskoe Reservoir in the first year of its filling, in *Gidroekologicheskii monitoring zony vliyaniya Bureiskogo gidrouzla* (Hydroenvironmental Monitoring of the

- Zone of Influence of the Bureiskii Hydrosystem), Khabarovsk: Dal'nauka, 2007, pp. 95–104.
16. Nikulina, T.V., Species composition of algaeflora and the determination of water quality in the Tyrma R. (Bureya's tributary), in *Gidroekologicheskii monitoring zony vliyaniya Bureiskogo gidrouzla* (Hydroenvironmental Monitoring of the Zone of Influence of the Bureiskii Hydrosystem), Khabarovsk: Dal'nauka, 2007, pp. 80–94.
  17. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Dal'nii Vostok* (USSR Surface Water Resources: Far East), vol. 18: *Verkhniy i Sredniy Amur* (Upper and Middle Amur), Iss. 1, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966.
  18. Sladechek, V., General biological scheme of water quality, in *Sanitarnaya i tekhnicheskaya gidrobiologiya* (Sanitary and Technical Hydrobiology), Moscow: Nauka, 1967, pp. 26–31.
  19. *Unifitsirovannye metody issledovaniya kachestva vod. Ch. 3. Metody biologicheskogo analiza vod* (Unified Methods of Studying Water Quality, Part 3, Methods for Biological Analysis of Water), Moscow: SEV, 1977.
  20. Shesterkin, V.P., Shesterkina, N.M., and Ivanova, E.G., Hydrochemical regime of the Bureiskoe Reservoir in the first years of its filling, in *Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch (Druzhininskie chteniya)* (Scientific Principles of Environmental Monitoring at Reservoirs: Druzhininskie Readings), Iss. 2, Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2005, pp. 65–68.
  21. Medvedeva, L.A., Structural characteristics of periphyton algae communities of watercourses of the Bureya River basin (Khabarovsk Region, Russian Federation), *Hydrobiol. J.*, 2007, vol. 43.
  22. Medvedeva, L.A., Nikulina, T.V., and Sirotsky, S.E., Algal flora of Bureisk Reservoir in three-year initial period, *XIX Int. Diatom. Sympos. Listvyanka*, 2006, p. 101.
  23. Pantle, F. and Buck, H., *Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse*, 1955, vol. 96.
  24. Swift, E., Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide, *Phycologia*, 1967, vol. 6, nos. 2–3, pp. 161–163.

*Translated by G. Krichevets*

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ<sup>1</sup>

© 2015 г. Л. А. Медведева\*, Т. В. Никулина\*, С. Е. Сиротский\*\*

\*Биолого-почвенный институт ДВО РАН

690022 Владивосток, просп. Столетия Владивостока, 159

E-mail: medvedeva@ibss.dvo.ru

\*\*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

680063 Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

Поступила в редакцию 23.06.2012 г.

Приведены данные о видовом составе и динамике развития фитопланктонных комплексов вновь созданного Бурейского водохранилища. В фитопланктоне водохранилища обнаружено 119 видов водорослей (учитывая разновидности – 121 таксон) из девяти отделов. По видовому составу водорослей, показателям их численности и биомассы, сапробной характеристике видов оценено экологическое состояние водоема. Воды водохранилища охарактеризованы как “практически чистые” и “слабо загрязненные”, II–III класса чистоты. Низкие значения численности и биомассы фитопланктона характеризуют Бурейское водохранилище как олиготрофный водоем.

*Ключевые слова:* Бурейское водохранилище, водоросли, видовой состав, качество воды.

DOI: 10.7868/S0321059615020078

Цель работы – оценка современного санитарно-биологического и экологического состояния вновь сформированного Бурейского водохранилища и бассейна р. Буреи на основании качественного состава и количественного распределения водорослей в связи со строительством Бурейской ГЭС.

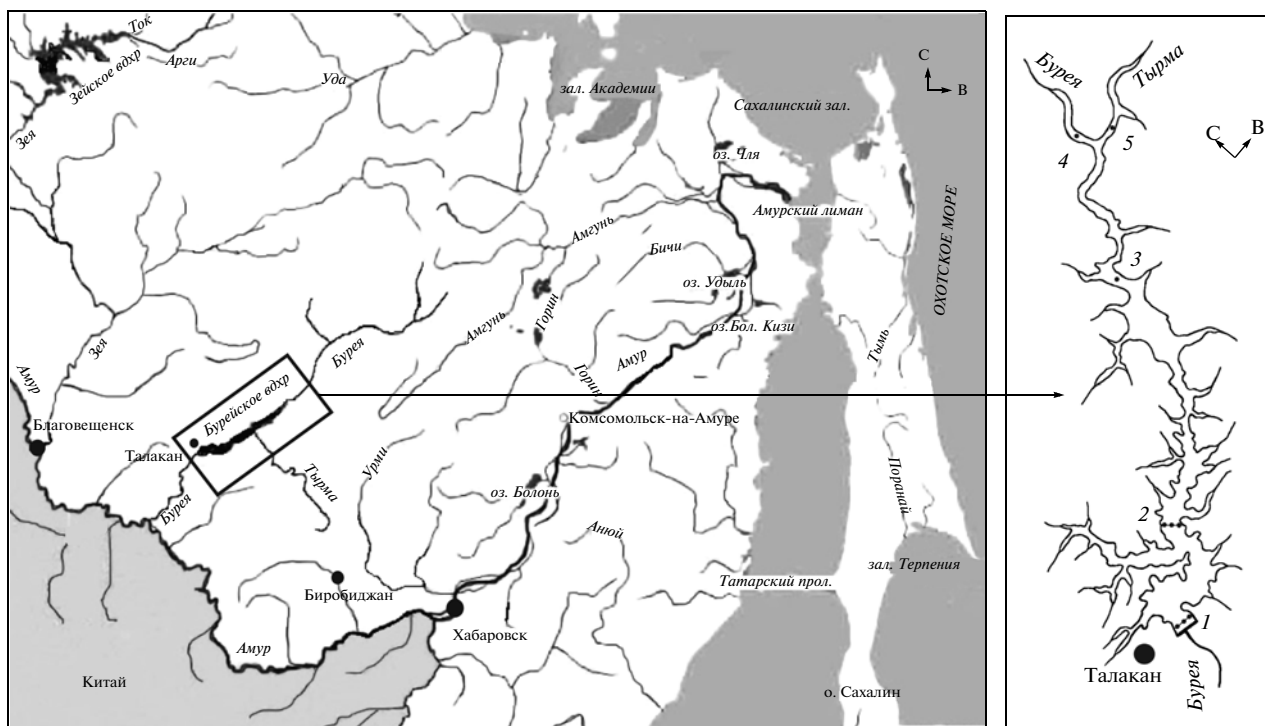
Строительство Бурейской ГЭС имеет долгую историю. В 1932 г. были проведены первые рекогносцировочно-изыскательские работы. Строительно-монтажные работы начались в 1982 г., однако вследствие общего экономического спада в стране строительство было практически заморожено. Только в конце 1990-х гг. финансирование стройки возобновилось, а к 2002 г. в основном было завершено сооружение плотины Бурейской ГЭС и одновременно происходило заполнение водохранилища. В июне 2003 г. был введен в эксплуатацию первый гидроагрегат Бурейской ГЭС, в октябре 2007 г. – последний, шестой агрегат [4]. Гид-

ростанция – высоконапорная, а водохранилище – каньонного типа. Некоторые параметры Бурейской ГЭС отражены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные технические параметры Бурейской ГЭС

Параметр	Величина
Высота плотины	140 м
Максимальный статический напор	122 м
Полный объем водохранилища	20.94 км <sup>3</sup>
Полезный объем водохранилища	10.3 км <sup>3</sup>
Нормальный подпорный уровень (НПУ)	256 м
Форсированный подпорный уровень (ФПУ)	263.4 м
Уровень мертвого объема (УМО)	236 м
Площадь зеркала при НПУ	750 км <sup>2</sup>
Площадь зеркала при УМО	400 км <sup>2</sup>
Максимальная длина водохранилища	~224 км
Установленная мощность	2010 МВт
Среднемноголетняя выработка	7.1 млрд кВт/ч
Количество гидроагрегатов	6

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке филиала ОАО “РусГидро” – “Бурейская ГЭС” по первому этапу социально-экологического мониторинга зоны влияния Бурейского гидроузла; РФФИ (проект 09-04-98544); ДВО РАН (проекты 09-III-A-06-179, 09-III-A-06-184); ОБН РАН (ПРОЕКТ 12-1-П30-01).



**Рис. 1.** Карта-схема расположения бассейна р. Буреи на территории российского Дальнего Востока. Схема расположения створов (номера с 1 по 5 на схеме) на Бурейском водохранилище.

Задачи гидробиологических исследований в районе Бурейской ГЭС включали в себя: идентификацию видового состава фитопланктона Бурейского водохранилища, выявление особенностей его распределения по акватории, оценку количественных показателей водорослей, выявление организмов-индикаторов органического загрязнения, санитарно-биологическую оценку качества воды водохранилища.

#### КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Бурейская ГЭС расположена в среднем течении р. Буреи (рис. 1). Первый створ ГЭС расположен в 174 км от устья реки. У плотины гидроэлектростанции вырос пос. Талакан. Образовавшееся водохранилище располагается в пределах двух административных образований: Амурской области и Хабаровского края.

Бурея — один из крупнейших притоков р. Амур в Приамурье. Истоки реки (Правая Бурея и Левая Бурея) находятся на высоте 560 м над уровнем моря в отрогах хребтов Эзоп и Дусе-Алинь. Длина Буреи от истока Правой Буреи — 739 км, общая площадь водосбора — 70700 км<sup>2</sup>. Впадает Бурея в Амур на 1666 км от его устья [17].

Территория бассейна реки занимает промежуточное положение между влажными прибрежными районами Тихого океана на востоке и континентальными пространствами Восточной Сибири и Монголии на западе, поэтому климат отличается резко выраженными чертами континентальности и в то же время имеет муссонный характер. Водосбор р. Буреи — наиболее увлажненная часть бассейна Амура, основное питание река получает в летний период от дождей, их доля составляет в среднем 50–70%. На снеговое питание приходится 10–20, на подземное — 10–30% общего годового стока. В теплую часть года паводки следуют один за другим, число их за сезон может достигать 10–12, наиболее значительные происходят в июле–августе. Муссонные ливни могут вызывать катастрофические наводнения, во время которых происходит подъем уровня воды на 5–6 м в сутки. Среднегодовая сумма осадков достигает 911 мм. По данным многолетних наблюдений, средняя годовая температура воды для разных участков р. Буреи составляет 4.1–6.1°C, среднесезонная летняя — 11.0–15.3°C. Максимальные температуры воды достигают 26–28°C. Охлаждение речных вод начинается уже в августе–сентябре. Ледостав наступает в конце октября–середине ноября. Среднее число дней с ледо-

ставом составляет 170, толщина льда практически везде превышает 1 м [17].

По мнению ученых, зарегулирование Буреи должно вызвать изменение климата в сторону потепления и повышения влажности атмосферного воздуха. Уже сейчас отмечено, что с появлением водохранилища лето стало прохладнее, зима теплее, в ноябре лед на реке не устанавливается в связи со сбросами воды из водохранилища [5]. Гидрохимический режим Бурейского водохранилища в первые годы заполнения формировался за счет водного стока рек Буреи и Тырмы, природных условий бассейна [20]. В первый год наполнения в летние месяцы в воде отмечалось максимальное содержание аммонийного азота, общего железа и органического вещества (вследствие преобладания снегового питания) (табл. 2). Исследования показали, что содержание растворенного кислорода, ионов калия, натрия, кальция и магния, хлоридных, гидрокарбонатных и сульфатных ионов не выходили за рамки допустимых значений ПДК.

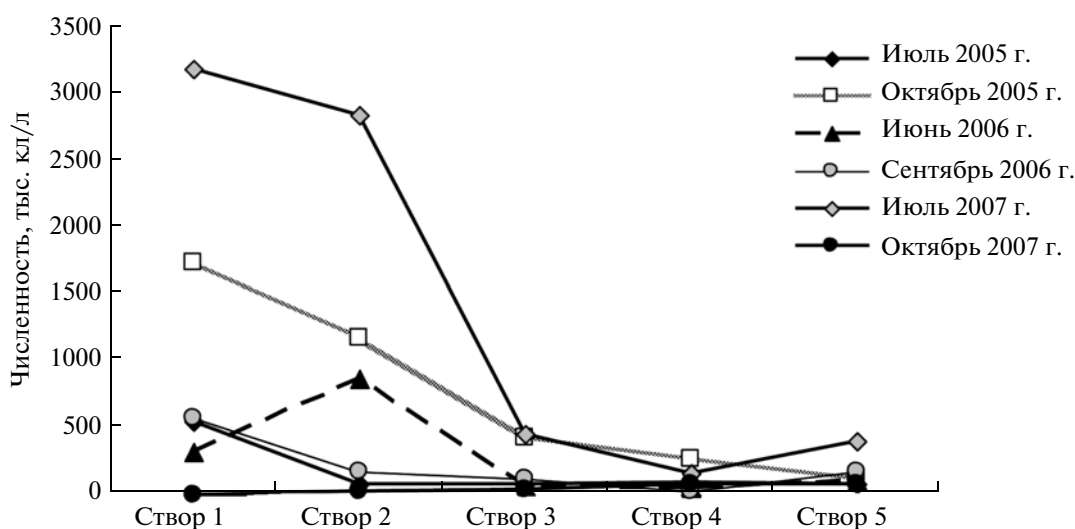
## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Летом 2003 г. специалистами Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Биолого-почвенного института ДВО РАН и Гидрометеослужбы г. Хабаровска было проведено первое альгологическое обследование акватории Бурейского водохранилища и, таким образом, была заложена основа мониторинговых исследований состояния вод водохранилища. В 2003 г. пробы отбирались на двух створах: в 200 м и в 8 км выше

**Таблица 2.** Некоторые среднемесячные показатели воды Бурейского водохранилища (числитель – показатели 2003 г., в знаменателе – 2004 г.)

Месяц	O <sub>2</sub> , мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	Fe <sub>общ.</sub> , мг/л	Минерализация, мг/л
Июнь	8.0	0.98	0.42	20.8
	8.1	0.73	0.24	21.8
Июль	8.1	0.70	0.38	21.7
	7.0	0.68	0.27	26.4
Август	7.2	0.33	0.30	30.4
	7.7	0.35	0.27	26.1
Сентябрь	9.1	0.63	0.33	28.9
	7.4	0.45	0.28	32.2
Октябрь	9.5	0.49	0.25	24.0
	7.2	0.34	0.29	29.8
Март	—	—	—	—
	10.8	0.26	0.28	41.0

плотины Бурейской ГЭС; в 2004–2007 гг. – на пяти створах: в 200 м выше плотины ГЭС (створ 1), в 8 км выше плотины ГЭС (створ 2), напротив устья р. Сектагли (створ 3), на р. Буреи в 2 км выше устья р. Тырма (створ 4), на р. Тырме в 2 км выше устья (створ 5) (рис. 2). Пробы фитопланктона были взяты в створах 3, 4 и 5 – в центре водохранилища, в створах 1 и 2 – в центре, у левого и правого берегов с глубин 1, 2 м, 1/2 общей глубины и у дна водоема. Вода, отобранная батометром (2 л), фильтровалась через планктонную сеть Апштейна, изготовленную из мельничного капронового



**Рис. 2.** Динамика численности водорослей по створам водохранилища (глубина 2 м). Здесь и на рис. 3, 4 для первых двух створов приведены усредненные данные по трем вертикалям.

газа № 77. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида. Всего было собрано и обработано 268 проб фитопланктона.

Определение материала проводилось с помощью микроскопов Amplival (Zeiss) и Alphaphot-2 YS-2 (Nikon) при увеличениях в 400 и 1200 раз. Обработка материала проводилась по общепринятым методикам с использованием отечественных и зарубежных определителей и атласов. Для идентификации диатомовых водорослей были приготовлены постоянные препараты перекисным методом [1, 24]. Для каждого вида отмечалась частота встречаемости по шестибальной шкале: 1 балл – единично, 2 – редко, 3 – нередко, 4 – часто, 5 – очень часто, 6 баллов – массово [6]. Количественные пробы были просмотрены с помощью счетной камеры, при этом проводились измерения размеров клеток водорослей. В дальнейшем рассчитывались численность ( $N$ ) клеток водорослей, тыс. кл/л, и биомасса ( $B$ ), мг/л.

Санитарно-биологический анализ качества воды проведен по методу Пантле и Бука в модификации Сладечека [7, 18, 23]. Индексы сапробности рассчитаны на основании списков индикаторных организмов [2, 3, 19]. Существующая система оценки качества воды по биологическим показателям на основании рассчитываемых индексов сапробности дает представление о степени загрязненности обследованного участка водотока и характеризует зону самоочищения водоема, соответствующую классу чистоты воды. В системе оценки качества воды по водорослям выделяется 5 основных зон самоочищения, соответствующих степеням сапробности (включая 16 подзон), и 5 классов чистоты воды [18]. В значительной степени экологическое состояние водоема оценивается по численности и биомассе развивающихся организмов. Эти же данные используются при оценке продуктивности водоема.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первые результаты изучения фитопланктона Бурейского водохранилища опубликованы в [9, 13–15, 22].

В результате обследования Бурейского водохранилища выявлен видовой состав водорослей, населяющих толщу воды. Всего за пять лет исследований было обнаружено 119 видов водорослей (с учетом разновидностей – 121 таксон) из девяти отделов: Cyanoprokaryota – 8, Euglenophyta – 2, Cryptophyta – 3, Dinophyta – 2, Chrysophyta – 7 (8 с разновидностью), Bacillariophyta – 52 (53), Xanthophyta – 2, Rhodophyta – 1, Chlorophyta – 42. Доминирующими были диатомовые водоросли *Asterionella formosa* Hass., *Stephanodiscus hantzschii* Grun. и *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., золотистые водоросли *Dinobryon bavaricum* Imh., *D. divergens* Imh., зеленые *Monoraphidium tortile* (W. West et G.S. West) Kom.-Legn., *Schroederia setigera* (Schröd.) Lemm., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. Наибольшим видовым разнообразием отличались диатомовые и зеленые водоросли.

В июле на створе 1 (200 м выше плотины) в поверхностном слое воды наблюдался уже вполне сформировавшийся комплекс планктонных водорослей (золотистые *Dinobryon bavaricum* и *D. divergens* и диатомовая *Asterionella formosa*). Комплекс фитопланктона был очень беден и состоял в основном из этих трех видов.  $N$  клеток на поверхности колебалась от 36.5 (правая) до 124.8 тыс. кл/л (левая сторона).  $B$  водорослей – 0.018–0.044 мг/л. В центре водной массы (на глубинах 17 и 30 м) водоросли практически отсутствовали, были найдены лишь случайные клетки.

На дне створа 1 водохранилища наблюдалось некоторое увеличение числа видов водорослей за счет бентосных организмов и осевших створок планктонных диатомей.  $N$  водорослей у левой стороны водохранилища была довольно высокой – 78.4 тыс. кл/л (в центре и у правой стороны – 10.2 и 10.7 тыс. кл/л соответственно).  $B$  за счет крупноклеточной *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. была 0.15 мг/л. В центре и справа  $B$  была незначительна (табл. 3).

В створе 2 (8 км выше плотины водохранилища) течение самой р. Буреи, заполняющей водохранилище, было существенным, поэтому комплекс планктонных водорослей еще не сформировался. В поверхностных слоях воды отмечены только цисты водорослей из рода *Dinobryon* и некоторые виды бентосно-планктонных диатомей (*Synedra acus* var. *radians* (Kütz.) Hust., *Tabellaria flocculosa*), по-видимому, поднятые со дна потоком воды.  $N$  водорослей колебалась от 1.08 до 6.2 тыс. кл/л, а  $B$  невелика: от 0.001 до 0.07 мг/л. В средних слоях толщи воды или вообще не найдены водоросли, или обнаружены случайные створки диатомей, занесенные течением. У дна водохранилища на этом створе отмечены немногочисленные экземпляры бентосных водорослей, видимо, снесенные потоком воды. С правой стороны водохранилища в донном комплексе развивались нитчатые формы – *Lyngbya* sp. из синезеленых водорослей и *Microspora stagnorum* (Kütz.) Lagerh. из зеленых, поэтому  $N$  водорослей в этой точке сразу резко увеличивается, достигая 228.1 тыс. кл/л (табл. 3).



**Таблица 3.** Количественные показатели фитопланктона в 2003–2006 гг. (здесь и в табл. 4 числитель — численность водорослей, тыс. кл/л; знаменатель — биомасса, мг/л; в графах “середина” и “дно” — глубины взятия проб за период исследования, м; числитель — максимальная, знаменатель — минимальная глубина; прочерк — отсутствие проб)

Створ	Точка отбора	Июль 2003 г.	Июль 2004 г.	Июль 2005 г.	Сентябрь 2005 г.	Октябрь 2005 г.	Июнь 2006 г.	Сентябрь 2006 г.
Створ 1	Левая сторона	124.8/0.044	53.13/0.028	30.6/0.014	1051.0/0.084	2254.0/0.192	173.9/0.036	—
	Поверхность	—	—	285.25/0.006	—	1847.62/0.14	179.27/0.053	—
	2 м	—	—	12.25/0.010	—	448.2/0.038	173.9/0.036	—
	Середина, 30/40 м	2.4/0.001	5.87/0.017	18.9/0.004	—	435.05/0.026	145.8/0.031	—
	Дно, 58/75 м	78.4/0.15	6.15/0.007	—	—	—	—	—
Створ 2	Центр	42.0/0.018	11.12/0.008	227.7/0.061	1227.6/0.105	1960.2/0.165	456.25/0.110	446.04/0.155
	Поверхность	—	—	1045.75/0.02	—	1786.6/0.172	249.0/0.053	574.2/0.211
	2 м	—	—	36.4/0.005	—	600.4/0.053	193.8/0.017	81.6/0.019
	Середина, 30/55 м	3.6/0.006	37.68/0.132	54.05/0.016	—	266.4/0.0235	127.75/0.021	77.0/0.019
	Дно, 60/116 м	10.2/0.013	9.45/0.015	—	—	—	—	—
Створ 3	Правая сторона	36.5/0.018	9.25/0.006	246.1/0.024	1164.0/0.101	1107.2/0.091	273.6/0.076	—
	Поверхность	—	—	297.0/0.438	—	1591.0/0.137	544.0/0.202	—
	2 м	—	—	97.5/0.029	—	218.3/0.034	473.4/0.028	—
	Середина, 17–46 м	9.8/0.004	3.47/0.0003	23.5/0.006	—	150.67/0.013	124.25/0.018	—
	Дно, 35/93 м	10.7/0.004	3.3/0.003	—	—	—	—	—
Створ 4	Левая сторона	1.08/0.009	6.9/0.003	17.6/0.012	1104.1/0.097	1939.5/0.164	170.1/0.012	—
	Поверхность	—	—	30.1/0.004	—	1474.8/0.126	160.0/0.063	—
	2 м	—	—	36.0/0.011	—	460.8/0.039	80.0/0.207	—
	Середина, 27/47 м	1.2/0.001	110.05/0.361	143.35/0.002	—	775.8/0.069	227.0/0.058	—
	Дно, 45/95 м	0.6/0.001	Пустая	—	—	—	—	—
Створ 5	Центр	1.3/0.001	32.5/0.023	884.1/0.140	804.75/0.070	1349.4/0.117	1375.6/0.411	264.0/0.093
	Поверхность	—	—	88.4/0.004	—	906.5/0.077	1006.0/0.455	172.52/0.076
	2 м	—	—	38.25/0.015	—	165.85/0.014	92.4/0.046	45.9/0.011
	Середина, 25/46 м	Пустая	5.6/0.004	144.0/0.007	—	648.45/0.055	70.0/0.030	4173.5/0.58*
	Дно, 50/92 м	4.0/0.003	5.8/0.006	—	—	—	—	—
Створ 6	Правая сторона	6.2/0.07	52.2/0.034	93.1/0.005	1320.7/0.143	1364.8/0.117	309.75/0.067	—
	Поверхность	—	—	108.65/0.043	—	1162.0/0.102	1425.6/0.438	—
	2 м	—	—	30.75/0.026	—	1504.1/0.131	321.1/0.101	—
	Середина, 18/44 м	0.3/0.0002	13.0/0.013	48.0/0.035	—	324.95/0.028	191.25/0.072	—
	Дно, 40/88 м	228.1/0.02	6.4/0.002	114.7/0.122	—	91.2/0.014	796.87/0.069	—
Створ 7	Поверхность	—	118.8/0.01	71.3/0.062	140.3/0.064	—	430.03/0.042	137.25/0.038
	2 м	—	—	121.6/0.064	83.6/0.022	—	233.05/0.02	122.5/0.021
	Середина, 20/40 м	—	186.83/0.011	105.6/0.0925	77.55/0.058	—	110.2/0.009	32.3/0.019
	Дно, 41/80 м	—	9.9/0.008	57.75/0.02	47.7/0.014	—	16.8/0.066	23.65/0.003
	Поверхность	—	95.88/0.285	52.5/0.035	16.8/0.066	36.75/0.003	87.4/0.046	72.85/0.021
Створ 8	2 м	—	—	29.45/0.026	87.4/0.046	—	21.45/0.009	30.81/0.018
	Середина, 15/31 м	—	65.02/0.06	48.5/0.116	21.45/0.009	—	21.45/0.009	26.13/0.01
	Дно, 30/65 м	—	86.4/0.045	90.75/0.083	38.85/0.019	—	38.85/0.019	12.24/0.012
	Поверхность	—	29.44/0.052	103.95/0.083	91.65/0.008	—	—	160.58/0.089
	2 м	—	—	74.4/0.023	75.9/0.067	27.2/0.004	—	168.3/0.062
Створ 9	Середина, 12/31 м	—	113.4/0.25	351.9/0.36	250.0/0.416	—	—	42.05/0.008
	Дно, 25/62 м	—	45.5/0.034	—	413.0/0.514	—	56.55/0.005	1080.4/1.37*

\* Пробы, в которых при взятии образцов батометром был зачерпнут слой придонного ила.

**2004 г.** В створе 1 (у плотины Бурейской ГЭС) на поверхности воды были обнаружены цисты золотистых водорослей, планктонные представители зеленых водорослей (*Monoraphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum*) и отдельные клетки диатомовых (*Tabellaria flocculosa*). Максимальная  $N$  водорослей у левого берега водохранилища составляла 53.13 тыс. кл/л, а в центральной части и у правого берега – 11.12 и 9.25 тыс. кл/л. Изменялись и значения  $B$  водорослей: от 0.028 мг/л (левый берег) до 0.008 и 0.006 мг/л (центр и правый берег соответственно) (табл. 3).

На поверхности воды в створе 2 вегетировали типично планктонные виды: золотистая водоросль *Dinobryon divergens*, цисты золотистых водорослей, зеленые планктонные *Monoraphidium tortile* и *Dictyosphaerium pulchellum* и диатомея *Fragilaria* sp.  $N$  водорослей была минимальна у левого берега водохранилища (6.9 тыс. кл/л), в центре и у правого берега створа она увеличилась до 32.5 и 52.2 тыс. кл/л соответственно.  $B$  водорослей колебалась в очень незначительных пределах (табл. 3).

В створе 3 (напротив устья р. Сектагли) в поверхностном слое воды были отмечены в основном речные виды, чаще встречающиеся в обрастаниях камней (синезеленая водоросль *Homoeothrix* sp., диатомовые из родов *Achnanthes*, *Gomphonema*, *Hannaea* и зеленая *Microspora* sp.). По-видимому, на состав водорослей большое влияние оказывали водные массы р. Сектагли.

В поверхностном слое воды створа 4 (2 км выше устья р. Тырмы) в составе водорослей встречались как истинно планктонные (*Dinobryon suecicum* Lemm.), планктонно-бентосные (*Tabellaria flocculosa*), так и виды – типичные обрастатели: *Achnanthes* sp., *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. Значения  $N$  водорослей были достаточно высоки – 95.88, 65.02 и 86.4 тыс. кл/л,  $B = 0.285$ , 0.06 и 0.045 мг/л соответственно. В створе 5 (устье р. Тырмы) планктонных видов не обнаружено, были найдены только единичные клетки видов-обрастателей, снесенных потоком воды (*Achnanthes* sp., *Gomphonema* sp., *Synedra ulna*).

**2005 г.** В конце июля 2005 г. в фитопланктоне водохранилища наиболее разнообразными в видовом отношении были диатомовые и зеленые водоросли. Высокую  $N$  имели два вида синезеленых водорослей – *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. (608.6 тыс. кл/л) и *M. pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. (462.0 тыс. кл/л), а их  $B$  была незначительна ввиду малого объема клеток.

Во всех пробах сентябрьской и октябрьской серий доминировала диатомовая водоросль *Stephanodiscus hantzschii*. Вид широко распространен в эвтрофных водоемах и относится к альфа-мезосапробионтам – показателям сильно загрязненных вод ( $s = 2.7$ ) [2, 19]. В сентябре, кроме *S. hantzschii*, встречались также представители отдела зеленых водорослей из группы протококковых: *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum triangulare* (Chod.) Kom., *Pediastrum tetras* (Ehr.) Ralfs, *Botryococcus braunii* Kütz., виды рода *Scenedesmus*.  $N$  водорослей во всех пробах определялась количеством клеток *S. hantzschii*. В поверхностном слое в створе 1  $B$  колебалась от 1051.0 до 1227.6 тыс. кл/л, соизмеримыми были ее значения и в створе 2, за исключением центральной части створа, где ее величина снижалась до 804.75 тыс. кл/л (табл. 3). Возможно, здесь сказалось влияние основного потока воды.

Падение  $N$  водорослей отмечено по направлению к верхней части водохранилища. С усилением скорости потока воды количество планктонных водорослей уменьшилось, и в створе 3 (напротив устья р. Сектагли)  $N$  снизилась до 91.2 тыс. кл/л, далее она снижалась до 8.875 тыс. кл/л на речном участке р. Бурей (напротив пос. Чекунда). Величина  $B$  водорослей была очень незначительна в силу мелкоклеточности доминирующего вида (средний объем одной клетки *S. hantzschii* ~85 мкм<sup>3</sup>). В целом значения  $B$  были невелики, и даже на первых двух створах, где отмечена максимальная  $N$  водорослей, они колебались от 0.0705 до 0.143 мг/л. В створе 3 показатели  $B$  водорослей уменьшались почти в половину, а в створах 4 и 5 их  $B$  определялась воздействием потоков воды рек Тырма и Бурей.

Во всех пробах октябрьской серии 2005 г. также безраздельно доминировала диатомовая водоросль *S. hantzschii*. Число зеленых протококковых водорослей заметно уменьшилось, хотя на некоторых створах единично были отмечены *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pediastrum tetras*, клетки видов рода *Scenedesmus*. Иногда встречались единичные клетки диатомовых водорослей *Aulacoseira* sp., *Asterionella formosa*. По сравнению с показателями сентября,  $N$  и  $B$  водорослей в поверхностном слое воды несколько возросли и достигли 1107.22–2254.0 тыс. кл/л и 0.091–0.192 мг/л соответственно (табл. 3). В предыдущие годы вид *S. hantzschii* вообще не отмечался, и его резкое появление и доминирование осенью 2005 г. может свидетельствовать как о нестабильном характере группировок фитопланктона водохранилища, так и об ухудшении качества воды в нем.

**2006 г.** В июле в створе 1 (200 м от плотины водохранилища) разнообразие водорослей и их  $N$  (173.9–456.25 тыс. кл/л) наиболее велики в верхних и средних слоях воды (табл. 3). Преобладали *Asterionella formosa* (диатомовые) и *Cryptomonas* sp. (криптофитовые).

Створ 2 (8 км выше плотины) характеризовался самым разнообразным составом водорослей. Чаще других видов встречались диатомовые *A. formosa*, *S. hantzschii*, *T. flocculosa*, золотистая водоросль *Dinobryon* sp. На этом створе  $N$  водорослей в поверхностном слое воды и на глубине 2 м была наиболее высокой: 160.0–1425.6 тыс. кл/л. Подобным образом изменялись и значения  $B$  водорослей. На створах 3–5 состав доминирующих видов не изменился, в придонных слоях к ним добавились *Hannaea arcus* и *Achnanthydium minutissimum* (Kütz.) Czarn. Показатели  $N$  и  $B$  водорослей здесь заметно снизились. Одной из особенностей июньского фитопланктона можно назвать стабильное присутствие золотистых водорослей (видов рода *Dinobryon* и их цист) по всей акватории и криптофитовых водорослей (*Cryptomonas* sp.) в средней и нижней частях водохранилища.

В сентябре в створе 1 в поверхностном слое воды наблюдалось максимальное развитие водорослей, причем разнообразие вегетирующих групп было довольно велико. Значительную долю  $N$  водорослей составляли диатомовая водоросль *S. hantzschii* и криптофитовая *Cryptomonas* sp. Разнообразными были и зеленые водоросли, хотя они встречались единичными экземплярами: *Coenochloris korschikoffii* Hind., *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. West et G.S. West, *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *Dictyosphaerium subsolitaria* van Goor, *Scenedesmus* spp., *Staurodesmus dejectus* (Bréb.) Teil.

Общая  $N$  водорослей в поверхностном слое воды достигала 446.04 тыс. кл/л, однако на глубине 2 м отмечены еще большие значения – 574.2 тыс. кл/л. С увеличением глубины  $N$  водорослей снижалась (77.0 тыс. кл/л).  $B$  водорослей изменялась в соответствующих пропорциях: в поверхностном слое воды ее значения составляли 0.155 мг/л, на отметке 2 м наблюдалось увеличение  $B$  до 0.211 мг/л и затем – снижение с глубиной до 0.019 мг/л. Створ 2 характеризовался сходным видовым составом с преобладанием *Cryptomonas* sp. и *S. hantzschii*, видовое разнообразие зеленых водорослей снизилось. На этом створе  $N$  водорослей в поверхностном слое воды была наиболее значительна – 264.0 тыс. кл/л.

Во время отбора проб батометром был зачерпнут слой осадка со дна водохранилища, поэтому в придонную планктонную пробу попали водорос-

ли, осевшие на дно. В результате  $N$  и  $B$  водорослей здесь были максимальны, однако они не учитывались при анализе общих закономерностей.

На створах 3–5 характер распределения водорослей в толще воды был примерно одинаковым. В поверхностных слоях воды также преобладали *Cryptomonas* sp. и *S. hantzschii*.  $N$  водорослей поверхностного слоя воды, по сравнению с данными створов 1 и 2, снизилась и колебалась от 72.85 до 160.58 тыс. кл/л, а на глубине 2 м – от 30.81 до 168.3 тыс. кл/л. Минимальные значения отмечены в придонных пробах (12.24–23.65 тыс. кл/л), за исключением створа 5 (р. Тырма), где при взятии пробы также был захвачен слой придонных осадков. Невелики были показатели  $B$  водорослей в поверхностных слоях воды – от 0.021 до 0.089 мг/л, значения также уменьшались с глубиной (табл. 3).

В целом в 2006 г. максимальными значениями  $N$  и  $B$  водорослей характеризовался створ 1. Летом преобладали диатомовые и золотистая водоросль *Dinobryon* sp. Осенние пробы фитопланктона характеризовались доминированием *Cryptomonas* sp. и *S. hantzschii*. Такие резкие изменения видового состава водорослей свидетельствуют о нестабильности группировок фитопланктона водохранилища и, возможно, отражают сезонную смену комплексов, связанную с колебаниями температуры воды.

**2007 г.** Состав фитопланктона в июле 2007 г. характеризовался присутствием на всех створах криптофитовых водорослей (*Cryptomonas* sp.), цист золотистых водорослей и *S. hantzschii* из диатомовых. В створе 1 видовое разнообразие водорослей, их  $N$  (3192.0 тыс. кл/л) и  $B$  (0.3612 мг/л) были максимальны на глубине 2 м.

Створ 2 отличался максимальными  $N$  (4752.0 тыс. кл/л) и  $B$  (0.5767 мг/л) водорослей в поверхностном слое воды. В створе 3 в большинстве проб преобладали диатомовые и зеленые водоросли *S. hantzschii* и *Sphaerocystis planctonica* (Korsch.) Bour., а также цисты золотистых (предположительно, из рода *Dinobryon*).  $N$  водорослей на данном участке водохранилища заметно снизилась и изменялась от 123.75 до 573.5 тыс. кл/л. Значения  $B$  водорослей находились в пределах от 0.099 до 0.313 мг/л.

В створе 4  $N$  и  $B$  водорослей, по сравнению с другими учётками, имели минимальные значения и изменялись в пределах: 29.45–485.8 тыс. кл/л и 0.0199–0.1225 мг/л соответственно (табл. 4). В пробах створа 5 отмечены представители родов *Peridinium* и *Dinobryon*. Значения  $N$  водорослей изменялись от 48.0 до 598.3 тыс. кл/л, а  $B$  – от 0.04

**Таблица 4.** Количественные показатели фитопланктона в 2007 г. (в створах 1 и 2 пробы были взяты только в центральной части)

Створ	Точка отбора	Июль	Октябрь
Створ 1	Поверхность	961.0/0.212	4.5/0.001
	2 м	3192.0/0.361	—
	5 м	584.5/0.141	6.3/0.0005
	10 м	2002.0/0.523	—
	Середина, 50/60 м	144.9/0.032	—
	Дно, 100/100 м	1818.3/0.103	2.725/0.002
Створ 2	Поверхность	4752.0/0.577	20.6/0.012
	2 м	2845.8/0.335	27.675/0.012
	Середина, 43/50 м	176.9/0.038	5.3/0.002
	Дно, 97/90 м	2159.0/0.309	8.625/0.022
Створ 3	Поверхность	573.5/0.145	26.775/0.014
	2 м	450.0/0.129	38.85/0.012
	Середина, 36/45 м	356.5/0.099	8.85/0.001
	Дно, 77/90 м	123.75/0.313	—
Створ 4	Поверхность	294.0/0.026	17.5/0.005
	2 м	163.2/0.053	75.0/0.016
	Середина, 30/35 м	54.0/0.035	4940.9/0.013
	Дно, 65/70 м	630.0/0.028	34.25/0.009
Створ 5	Поверхность	598.3/0.476	40.7/0.014
	2 м	405.0/0.202	90.4/0.011
	Середина, 23/28 м	48.0/0.04	18.125/0.002
	Дно, 46/57 м	129.5/0.054	53.65/0.008

до 0.4756 мг/л. В районе устья р. Тырмы обнаружены бентосные и бентосно-планктонные виды водорослей.

В октябре 2007 г. в створе 1 наблюдались самые низкие значения *N* и *B* водорослей. На поверхности воды *N* водорослей была 4.5 тыс. кл/л, *B* приближалась к нулевой отметке: 0.001–0.0005 мг/л. Створ 2 характеризовался более высокими значениями *N* (5.3–27.67 тыс. кл/л), причем по вполне логичной схеме: максимальные значения — на глубине 2 м, затем — падение *N* и снова некоторое повышение у дна за счет попадания клеток бентосных водорослей. Относительно увеличились и значения *B* водорослей до 0.012 мг/л. Отбор проб на этих двух створах проводился во время сильного ветра, по-видимому, в значительной степени перемешавшего водные массы, вследствие чего нарушилось нормальное состояние фитопланктонных комплексов.

Отбор проб в створах 3–5 проводился днем на сутки ранее, до наступления шторма, поэтому показатели *N* и *B* водорослей вполне достоверны. В целом, максимальные значения *N* отмечены в

этих створах на глубине 2 м: от 38.85 (створ 3) до 90.4 тыс. кл/л (створ 5). Соответствующим образом возрастали и показатели *B* водорослей. Пик численности (до 4940.9 тыс. кл/л) в середине створа 4 произошел вследствие массового развития здесь синезеленой водоросли *Aphanothese clathrata* W. West et G.S. West в силу малых размеров клеток этого вида, повышения *B* водорослей не наблюдалось.

Октябрьские фитопланктонные пробы характеризовались значительным обеднением видового состава водорослей, а также резким падением значений *N* и *B* водорослей. Наиболее устойчивыми видами оказались криптофитовая водоросль *Cryptomonas* sp. и диатомовая *S. hantzschii*, но даже эти виды встречались единично. Резкое падение показателей можно объяснить низкой температурой воды в осеннее время. Середина октября — самый поздний срок обследования водохранилища: в предыдущие годы последние поездки на водохранилище были предприняты в конце сентября — начале октября. Таким образом, отмечен момент естественного уменьшения *N* и *B* водорослей фитопланктона вследствие прекращения их вегета-

ционного периода. Наиболее низкие значения  $N$  и  $B$  водорослей были зафиксированы в створе 1. Эти данные противоречат результатам 2003–2006 гг.: в предыдущие годы именно в створе 1 зачастую наблюдались максимальные количественные показатели  $N$  и  $B$  водорослей. Объяснить это явление можно двумя причинами: нарушением нормального вегетационного состояния фитопланктонных комплексов из-за сильного перемешивания водных масс в ветренную погоду, а также тем, что в створе 1 с 2003 г. отмечалось развитие типично планктонных группировок водорослей, бентосные виды здесь практически отсутствовали. На фоне общего падения вегетационной активности водорослей фитопланктона в наблюдаемый период получается, что на всех других створах именно попадание случайных бентосных форм давало увеличение количественных показателей фитопланктона.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Динамика фитопланктонных комплексов*

Видовой состав водорослей планктона Бурейского водохранилища насчитывает 119 видов из девяти отделов. Определенную долю этого количества составляют бентосные и бентосно-планктонные виды, занесенные в планктонные группировки водорослей потоком воды. В первый год исследований (и первый год формирования фитопланктонных комплексов) в планктоне доминировали диатомовая водоросль *Asterionella formosa* и золотистые водоросли *Dinobryon bavaricum* и *D. divergens*. На следующий год летом в планктоне отмечены цисты золотистых водорослей (возможно, этих же видов *Dinobryon*) и появились планктонные зеленые водоросли *Monoraphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum*. Еще через год в летних пробах 2005 г. преобладали виды рода *Microcystis* (синезеленые). Осенью – в сентябре и октябре в планктоне водохранилища доминировала диатомовая водоросль *S. hantzschii*, в предыдущие годы исследований этот вид не отмечался. Если в сентябре в планктонных группировках иногда встречались зеленые водоросли, то в октябре их было отмечено гораздо меньше и в пробах часто обнаруживался только один вид – *S. hantzschii*. В дальнейшем к числу доминирующих форм присоединилась криптофитовая водоросль *Cryptomonas* sp. Необходимо отметить также, что, если в первые годы исследований *S. hantzschii* был отмечен только осенью, то с 2006 г. он встречался уже и в летние месяцы. Таким образом, явно развивалась сук-

цессия планктонных комплексов водохранилища, сопровождающаяся сменой видового состава.

Изменялись по годам и количественные показатели планктона. Хотя уже в первый год у плотины ГЭС были зафиксированы планктонные группировки, но они были весьма бедными по составу. Низкие количественные показатели фитопланктона наблюдались в первые два года существования водохранилища, но особенно малы они были во второй год. Только на третий год отмечены вполне сформировавшиеся планктонные группировки водорослей, их  $N$  и  $B$  заметно возросли. По-видимому, это объясняется тем, что с увеличением объема водохранилища по мере его заполнения все дальше от плотины водохранилище приобретает характер стоячего или мало проточного водоема, в котором бентосные сообщества, характерные для текучих вод, сменяются планктонными комплексами.

Результаты, полученные для поверхностных проб, отличались случайным разбросом значений, поэтому при построении графиков динамики количественных показателей фитопланктона использовались данные с глубины 2 м. На рис. 2 показана динамика  $N$  водорослей планктона на глубине 2 м по годам (исключены данные двух первых лет исследований). Ясно прослеживается уменьшение  $N$  водорослей в направлении от приплотинной части к расположенным выше по течению участкам. Заметна значительная разница между значениями  $N$  водорослей в летний и осенний периоды. Максимальные показатели  $N$  водорослей отмечены осенью 2005 г.

На рис. 3 представлена динамика  $B$  водорослей по створам. Показатели  $B$  в целом очень невелики и также подвержены колебаниям. Такие низкие значения  $B$  характеризуют Бурейское водохранилище как олиготрофный водоем.

### *Анализ качества воды по сапробности водорослей*

В 2003 г. анализ качества воды водохранилища по сапробности водорослей показал, что значения индекса сапробности изменялись в значительных пределах. Это объяснялось, конечно, не резким изменением качества воды в обследованных точках, а малочисленностью обнаруженных комплексов водорослей. В некоторых случаях подсчет индекса оказался невозможным из-за полного отсутствия водорослей или показательных организмов. Однако в целом более низкие индексы наблюдались в створе 2, где сильно влияние чистых речных вод. Индекс сапробности менялся здесь от 0.3 до 1.2, причем понижение его наблюдалось у дна водохранилища. В створе 1 ин-

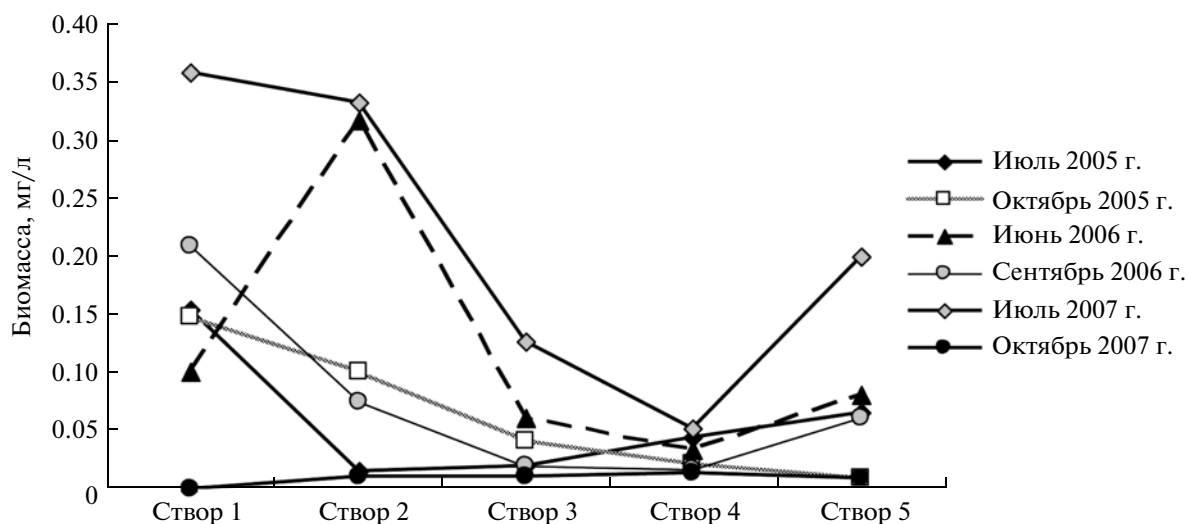


Рис. 3. Динамика биомассы водорослей по створам водохранилища (глубина 2 м).

дексы были несколько выше и менялись от 1.7 до 0.81 (табл. 5). Полученные значения индексов соответствуют в основном олигосапробной зоне, классу II качества вод — “практически чистые” воды.

Анализ качества воды водохранилища по сапробности водорослей в 2004 г. также показал довольно значительные пределы колебаний индекса сапробности: от 0.84 до 2.0, что соответствует олиго- и бета-мезосапробной зонам, классам II и III качества вод (“практически чистые” и “слабо загрязненные” воды).

В июле 2005 г. значения индексов сапробности по акватории водохранилища изменялись от 1.24 до 2.2. Согласно этим данным, воды Бурейского водохранилища принадлежат олиго- и бета-мезосапробной зонам, что соответствует классам II–III чистоты, и воды классифицируются как “чистые” и “слабо загрязненные”.

Осенью 2005 г. значения индексов сапробности в основных створах находились в пределах от 2.02 до 2.7. Эти высокие значения индексов по шкале чистоты вод соответствуют бета- и альфа-мезосапробной зонам, классам III–IV чистоты вод (“слабо загрязненные” и “сильно загрязненные” воды). Однако необходимо отметить, что в этот период в планктонных комплексах водорослей доминировал вид *S. hantzschii*, который является альфа-мезосапробионтом ( $s = 2.7$ ), его присутствие обуславливает высокие показатели индекса качества воды. Можно предположить, что ухудшение качества воды происходит в силу недостаточной сформированности группировок фитопланктона и их монодоминантности. Однако столь высокие расчетные показатели качества воды осенью 2005 г. свидетельствуют, скорее об увеличении экологической пластичности вида *S. hantzschii*, чем о резком ухудшении качества воды.

Таблица 5. Значения сапробных индексов в створах водохранилища (данные только для поверхностных проб, “нет” — отсутствие показательных организмов, прочерк — отсутствие проб; для створов, в которых взяты три точки, приведено среднее значение индекса)

Период	Створ 1	Створ 2	Створ 3	Створ 4	Створ 5
Июль 2003 г.	1.4	0.6	—	—	—
Июль 2004 г.	1.37	1.9	0.3	1.2	1.9
Июль 2005 г.	1.75	1.57	1.55	1.39	1.32
Сентябрь 2005 г.	2.61	2.26	2.44	2.7	2.7
Октябрь 2005 г.	2.56	2.63	2.56	2.7	2.7
Июнь 2006 г.	2.02	1.75	1.83	1.77	1.71
Сентябрь 2006 г.	1.97	1.9	1.98	1.0	1.76
Июль 2007 г.	1.77	1.98	1.33	1.05	1.36

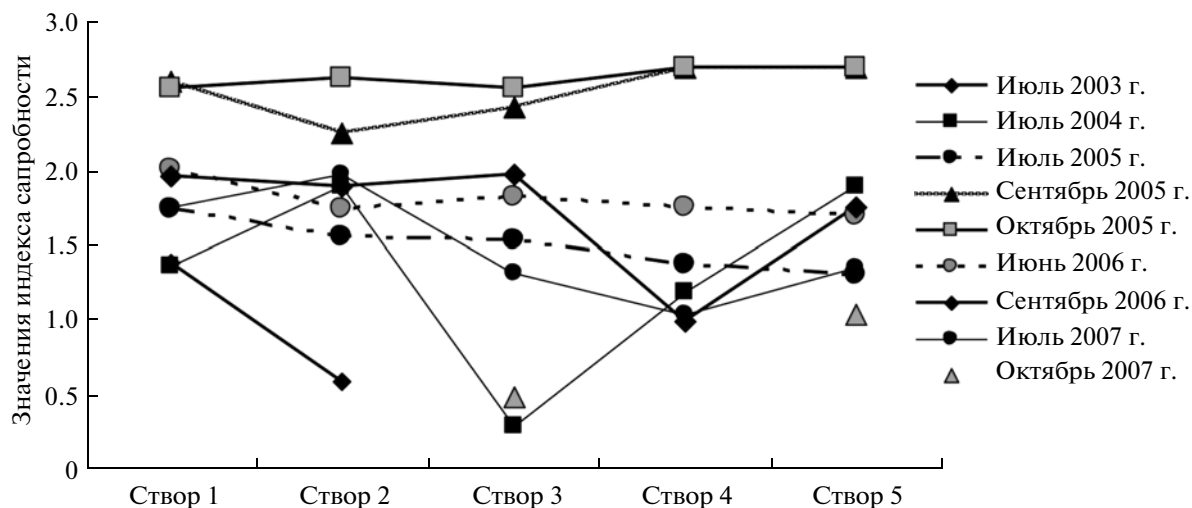


Рис. 4. Колебания индекса сапробности  $S$  по створам водохранилища.

Анализ качества воды Бурейского водохранилища по сапробности водорослей показал, что в 2006 г. значения индексов сапробности изменялись по створам в пределах 1.0–2.05. Какой-либо закономерности в колебаниях значений индексов не обнаружено, отмечено только, что наиболее низкими значениями (значит — наиболее чистыми водами) характеризуется створ 4. Воды Бурейского водохранилища можно отнести к олиго- и бета-мезосапробным зонам, классам II–III чистоты (табл. 5). Рассчитанные индексы сапробности за 2006–2007 гг. не столь высоки.

Качество воды в июле 2007 г. по значениям индекса сапробности  $S$  изменялись от 0.68 до 2.3. Соответственно полученным значениям индекса  $S$ , воды Бурейского водохранилища принадлежат олиго- и бета-мезосапробной зонам, классам II и III чистоты и классифицируются как “чистые” и “слабо загрязненные”. Воды в створах 4 и 5 — наиболее чистые и относятся в основном к классу II чистоты вод. В октябре 2007 г. вследствие малочисленности водорослей, отсутствия показательных организмов, а зачастую и просто отсутствия водорослей вообще проведение санитарно-биологического анализа было затруднено. Индексы сапробности, подсчитанные для отдельных участков, отличались значительным разбросом значений (от 0.2 до 2.3), и качество воды изменялось от класса I до класса III чистоты. Рис. 4 показывает значительные колебания значений индекса сапробности вод по створам водохранилища. Необходимо отметить, что сезонная динамика видового состава фитопланктона, обедненность планктонных комплексов водорослей влияли на значения индексов сапробности, однако в целом

заметна тенденция понижения индекса в более удаленных от плотины створах водохранилища, где сильно воздействие чистых речных вод. Самые высокие индексы зафиксированы осенью 2005 г.

Параллельно изучению Бурейского водохранилища проводились работы по обследованию качества воды и экологического состояния водотоков средней части бассейна р. Буреи (реки Бурей, Ургал, Чегдомын, Солони, Эльганджя, Ниман, Нимакан, Ягдынья, Дубликан, ключ Малый Ерик), а также водотоков, непосредственно впадающих в Бурейское водохранилище (реки Обдерган, Большой Чалбач, Таканцы, Талая, Туюн, Тырма). Полученные результаты свидетельствуют о том, что все обследованные водотоки находятся в хорошем экологическом состоянии и несут практически чистые воды, которые, согласно системе оценки качества вод по сапробности водорослей, имеют индексы от 1.05 до 1.87 и относятся к олиго- и бета-мезосапробной зонам самоочищения, классам II–III чистоты воды — “практически чистые” или “слабо загрязненные” воды, имеющие слабую степень естественного органического загрязнения [8, 10–12, 16, 21].

## ВЫВОДЫ

На основании выявленного видового состава водорослей, расчета их количественных характеристик ( $N$  и  $B$ ), индексов сапробности ( $S$ ) вод для каждого обследованного участка водоема, определения зоны сапробности и класса чистоты вод дана общая оценка экологического состояния водных ресурсов Бурейского водохранилища за пятилетний период.

Видовой состав фитопланктона Бурейского водохранилища насчитывает 119 видов водорослей (121 внутривидовых таксонов) из девяти отделов. Наибольшим видовым разнообразием отличаются диатомовые и зеленые водоросли. К доминирующим формам отнесены диатомовые водоросли *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus hantzschii* и *Tabellaria flocculosa*, золотистые *Dinobryon bavaricum*, *D. divergens*, зеленые *Monogaphidium tortile*, *Schroederia setigera*, *Dictyosphaerium pulchellum* и криптофитовая водоросль *Cryptomonas* sp.

В первые годы исследований водная экосистема Бурейского водохранилища находилась на начальных этапах формирования. Фитопланктон водохранилища характеризовался бедностью видового состава, а *N* и *B* водорослей были очень малы даже в поверхностном слое воды. Створы 1 и 2 (у плотины ГЭС и в 8 км выше плотины) характеризовались наиболее высокими значениями *N* и *B* водорослей, и именно здесь уже в 2003 г. были отмечены планктонные группировки водорослей. По направлению к верхней части водохранилища с усилением скорости потока воды количество планктонных водорослей уменьшалось и их *N* в створах 3–5 также уменьшилась на порядок по сравнению со створом 1. Максимальная *N* водорослей к 2007 г. возростала до 4752.0–4940.9 тыс. кл/л, а значения *B* достигали величин 0.523–0.577 мг/л.

Водоохранилище по мере заполнения с увеличением его объема все дальше от плотины приобретает характер малопроточного водоема, в котором бентосные сообщества, характерные для текучих вод, сменяются планктонными комплексами водорослей. В настоящее время процесс перестройки речных комплексов на группировки стоячих водоемов практически завершен. Однако водная экосистема остается весьма неустойчивой, что подтверждается наблюдаемой сукцессией планктонных комплексов водохранилища, сопровождающейся сменой составляющих компонентов и доминирующих форм.

Анализ качества вод водохранилища Бурейской ГЭС по сапробности водорослей показал, что величины *S* изменяются в довольно значительных пределах (от 0.3 до 2.7). Как правило, самые низкие индексы наблюдались в более удаленных от плотины створах водохранилища, где сильно влияние чистых речных масс. Воды Бурейского водохранилища можно охарактеризовать как “практически чистые” и “слабо загрязненные”, относящиеся к олиго- и бета-мезосапробной зонам, классам II и III чистоты вод. Наблюдаемое осенью 2005 г. повышение значений

*S* до 2.7 объясняется массовым развитием диатомеи *Stephanodiscus hantzschii*, имеющей высокую экологическую валентность.

Водотоки, питающие водохранилище, находятся в хорошем экологическом состоянии и приносят воды, относящиеся к классам II–III чистоты – “практически чистые” или “слабо загрязненные” воды.

В настоящее время сохраняющаяся даже в летний период низкая температура воды и существующий проточный режим не позволяют водорослям массово вегетировать, однако необходим постоянный контроль за состоянием пока еще не сформировавшейся окончательно и поэтому не вполне устойчивой экосистемы. Зафиксированные авторами статьи изменения видового состава водорослей и их количественных характеристик могут служить хорошими показателями изменений экологических условий водотоков.

Все вышеперечисленные данные получены впервые для бассейна водохранилища Бурейской ГЭС и могут служить основой дальнейшего мониторинга его состояния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барина С.С.* Полиморфизм соединительных структур диатомовых водорослей // Эволюционные исследования. Вавилонские темы. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 110–122.
2. *Барина С.С., Медведева Л.А.* Атлас водорослей–индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.
3. *Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
4. Бурейская ГЭС: на полную мощность. Талакан: Изд-во РусГидро, 2010. 23 с.
5. *Заусаев В.К., Чепегина М.В., Халиуллина З.А.* Социальная оценка последствий строительства Бурейской ГЭС // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ (Дружининские чтения). Вып. 2. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 25–29.
6. *Кордэ Н.В.* Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. Т. 4. Ч. 1. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 383–413.
7. *Макрушин А.В.* Биологический анализ качества вод. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1974. 58 с.
8. *Медведева Л.А.* Альгологические сообщества как индикаторы степени интеграции речного бассейна (на примере реки Бурея) // Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ре-



- сурсами. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. С. 167–168.
9. *Медведева Л.А.* Санитарно-биологическая оценка состояния Бурейского водохранилища в первый год его наполнения // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ (Дружининские чтения). Вып. 2. Хабаровск, 2005. С. 88–91.
  10. *Медведева Л.А.* Оценка санитарно-биологического состояния бассейна р. Бурей (Российский Дальний Восток) // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб.: Лемма, 2006. С. 99.
  11. *Медведева Л.А.* Структурная характеристика сообществ водорослей перифитона водотоков бассейна реки Бурей (Хабаровский край, Российская Федерация) // Гидробиол. журн. 2006. Т. 42. № 6. С. 22–40.
  12. *Медведева Л.А.* Результаты альгологического обследования средней части бассейна реки Бурей // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. Хабаровск: Дальнаука, 2007. С. 64–80.
  13. *Медведева Л.А., Никулина Т.В., Сиротский С.Е.* Биомониторинг экологического состояния Бурейского водохранилища // Регионы нового освоения: экологические проблемы и пути их решения. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. С. 594–596.
  14. *Медведева Л.А., Сиротский С.Е.* Фитопланктон Бурейского водохранилища – одна из составляющих мониторинга его экологического состояния (Амурская область) // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб.: Лемма, 2006. С. 100.
  15. *Медведева Л.А., Сиротский С.Е.* Фитопланктон Бурейского водохранилища в первый год его наполнения // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. Хабаровск: Дальнаука, 2007. С. 95–104.
  16. *Никулина Т.В.* Видовой состав альгофлоры и определение качества воды р. Тырма (приток реки Бурей) // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. Хабаровск: Дальнаука, 2007. С. 80–94.
  17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Дальний Восток. Т. 18. Верхний и Средний Амур. Вып. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 780 с.
  18. *Сладечек В.* Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967. С. 26–31.
  19. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. М.: СЭВ, 1977. 91 с.
  20. *Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г.* Гидрохимический режим Бурейского водохранилища в первые годы заполнения // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ (Дружининские чтения). Вып. 2. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 65–68.
  21. *Medvedeva L.A.* Structural Characteristics of Periphyton Algae Communities of Watercourses of the Bureya River Basin (Khabarovsk Region, Russian Federation) // Hydrobiol. J. 2007. V. 43. Is. 2. P. 17–34.
  22. *Medvedeva L.A., Nikulina T.V., Sirotsky S.E.* Algal flora of Bureisk Reservoir in three-year initial period // XIX Int. Diatom. Sympos. Listvyanka, 2006. P. 101.
  23. *Pantle F., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. 1955. Bd 96, 18. 604 s.
  24. *Swift E.* Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide // Phycologia. 1967. V. 6. № 2–3. P. 161–163.