

Hydrochemical and hydrobiological investigations of the Upper Angara River and of its tributaries

Tomberg I.V.^{*ID}, Stepanova O.G.^{ID}, Vorobyova S.S.^{ID}, Suslova M.Yu.^{ID}

Limnological Institute of the RAS Siberian Branch, 3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

ABSTRACT. We have presented the results of hydrochemical and hydrobiological investigations performed in the Upper Angara R. basin and at North Baikal tributaries. A 4-fold increase of mineralization in the Upper Angara R. water from sources to inflow was found out due to income of tributaries waters with a high mineralization. Compared to previous investigations, we registered enrichment of waters in the investigated water flows with trace elements. Increase of normative by copper, molybdenum, iron and manganese was registered in water of some rivers. Determination of microorganisms sanitary groups showed a trend to improvement of riverine waters quality.

Keywords: Upper Angara R. and tributaries, ion composition, biogenic elements, trace elements, phytoplankton, sanitary-indicatory microorganisms

For citation: Tomberg I.V., Stepanova O.G., Vorobyova S.S., Suslova M.Yu. Hydrochemical and hydrobiological investigations of the Upper Angara River and of its tributaries // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - P. 919-936. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-4-919

1. Introduction

The Upper Angara River is the second Lake Baikal tributary by water content, 438 km long, starts at Delyun-Uran Ridge and finishes with a delta in the northern part of the lake. One of main water flows pollution sources in the Upper Angara R. basin is a railway branch of Baikal-Amur Mainline (BAM) and a parallel motor road, within water catchment area it is >250 km long. In April of 2021, according the Government Statement №1100-p (<http://government.ru/docs/42120/>), activities for BAM widening are initiated. It is planned within the project to construct the second branch of the viaduct, this previews extraction of stones and sand-gravel mixture for dumping, construction of bridges through water flows; all this results in the increase of anthropogenic charge in the Upper Angara R. basin (Fig. 1).

Investigations performed by the Limnological Institute within a budgetary project in 2012 showed a non-satisfactory water quality in Upper Angara R. and in its tributaries by microbiological parameters; this was probably due to the income of household wastes from the settlements into the rivers. However, during last 12 years, the population living on the territory of the Upper Angara R. water catchment basin decreased practically by 1/3 (Table 1), this fact allows to expect an improvement of sanitary-microbiological situation and of water quality in water flows.

*Corresponding author.
E-mail address: kaktus@lin.irk.ru (I.V. Tomberg)

Received: July 25, 2025; **Accepted:** August 15, 2025;
Available online: August 31, 2025

Dangerous toxicants incoming into riverbeds due to human economic activity are heavy metals (Fe, Cu, Zn, etc.). One of sources of microcomponents income into the rivers of North Baikal may be Kholodnaya deposit of polymetallic ores, which is not exploited at present and is mothballed. Besides, gold is mined in the upper reach of tributaries (the Kotera R.). Investigations performed in 2012 showed MPC exceed of copper in waters of the Upper Angara and Rel' Rivers, in the Kholodnaya and Tyya Rivers waters microelements concentrations were inconsiderable and did not exceed maximal permissible concentrations for water body of fishery importance (Order of Ministry of Agriculture..., 2016).

Table 1. Abundance of population (humans) inhabiting the territory of the Upper Angara River water catchment basin (https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Байкальский_район)

Settlement	2012	2024
Novy Uoyan uts	3835	2660
Kichera uts	1321	851
Angoya settl.	662	524
Verkhnyaya Zaimka settl.	618	478
Kumora settl.	536	391
Yanchukan uts	362	230
Uoyan settl.	325	274
Total	7659	5408



Fig.1. Construction of BAM second branch in the Upper Angara River basin, July of 2024.

One more source impacting not only dynamics of northern rivers water outflow but also chemicals content in tributaries water is melting-out of ice in degrading permafrost rocks (Tomberg et al., 2024). This result in income of large amount of terrigenous material enriched with organic matter into river beds (Fig. 2).

All these factors suggest the necessity to perform regular investigations for water quality assessment both in the Upper Angara R. basin and in water catchment basins of other North Baikal tributaries.

The aim of the investigation was to analyze modern chemical composition of waters in the Upper Angara River and in its tributaries, to investigate abundance, biomass and species diversity of phyto- and bacterioplankton, to assess waters quality by chemical and microbiological parameters.

2. Materials and methods

In July of 2024, water was sampled from the Upper Angara R. on three sites along the river: U.A.1 – river upper reach, ca. in 350 km from the mouth; U.A.2 – middle part of the river near Novy Uoyan uts, ca. in 130 from the mouth; U.A.3 – a mouth area near

Bol'shaya Zaimka settl., ca. 18 km from the mouth. We also sampled for the investigation water from five tributaries of the Upper Angara River – the Angarakan, Yanchukan, Yanchuy, Gonkuli and Kotera. Besides, we took samples in mouth sites of Lake Baikal tributaries – the Kichera, Kholodnaya, Tyya and Rel' Rivers (Fig. 3). Investigations of July, 2012 were performed in a similar way and allowed not only to determine chemical and biological parameters in riverine water supplying into Lake Baikal up to 20% of water but also to compare actual data with ones obtained 12 years ago.

Water chemical composition was determined by methods approved for freshwater hydrochemistry (Baram et al., 1999; Guide..., 2009). Total nitrogen, phosphorus and organic matter content was determined in non-filtered samples, for major ions and biogenic elements determination the samples were filtered through membrane filters with pores diameter of 0.45 μm . Biogenic elements concentrations were measured using a spectrophotometer UNICO-2100 (USA): nitrites with Griess reagent, nitrates – with sodium salicylate, ammonia-nitrogen – by indophenol method, phosphates – by Denije-Atkins method with tin chloride as reducing agent. To determine silicic acid, we used a



Fig.2. Melting-out of permafrost in the bed of the Upper Angara R. (area of Verkhnyaya Zaimka settl.) at low water content of the river, October of 2015.

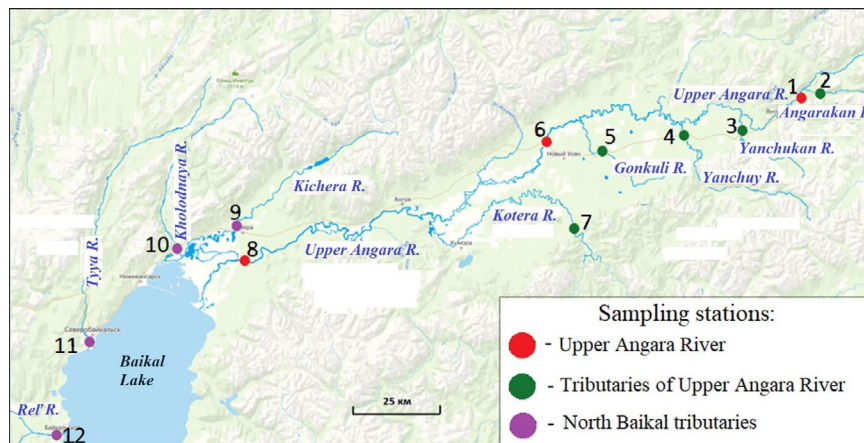


Fig.3. Sampling scheme, July of 2024. Stations: 1 – the Upper Angara R. below the inflow of the Angarakan R. (U.A.1), 2 – the Angarakan R., 3 – the Yanchukan R., 4 – the Yanchuy R., 5 – the Gonkuli R., 6 – the Upper Angara R. below Novy Uoyan uts (U.A.2), 7 – the Kotera R., 8 – the Upper Angara R. Verkhnyaya Zaimka settl. (U.A.3), 9 – the Kichera R., 10 – the Kholodnaya R., 11 – the Tyuya R., 12 – the Rel' R.

spectrophotometric method based on measurement of staining intensity of yellow silica-molybdenous heteropolyacid. Total phosphorus and nitrogen content were determined using a high-temperature persulfate acidification with subsequent measurement in a spectrophotometer. Concentrations of such ions as HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} were determined using high performance liquid chromatography method with indirect UV-detection. The method is based on separation of anions on a column with reversed phase modified dynamically with octadecyltrimethylammonium bromide. Contents of ions of Ca^{2+} and Mg^{2+} were determined by absorption method based on measurement of resonance absorption of light with free atoms of calcium and magnesium. Concentrations of Na^+ and K^+ were measured by flame emission method. This method is based on measurement of absolute radiation intensity of sodium and potassium atoms at their excitation in flame acetylene-air.

Microelemental composition of rivers was determined using a quadrupole mass-spectrometer Agilent 7500ce. Samples and determination error were done by methods described in papers by Chebykin E.P. (2012) and Aries S. (2000).

To determine phytoplankton, water samples 1 L) were fixed with Lugol's solution and concentrated by precipitation. Algae were counted on watch glass putting there a drop of a sample 0.1 cm^3 . A drop was covered with a cover glass with small wax legs, a watch glass was handled on a microscope stage (Kozhova and Mel'nik, 1978; Popovskaya, 1991). The calculation was done twice on a light microscope Amplival (Germany) with magnifying $\times 800$ and $\times 2000$. Biomass was determined taking into account volume of separate cells (Belykh et al., 2011; Kozhova and Mel'nik, 1978).

Riverine waters for microbiological investigation were sampled according to GOST 31942–2012 and analyzed according to MG 4.2.3963–23.

3. Results and discussion

3.1. Hydrochemistry

The Figure 4 presents change in content of some chemical components along the Upper Angara R. and

in its tributaries in July of 2012 and 2024. During both years, investigation on the rivers were done under low water conditions, however, high air temperatures in June-July of 2024 resulted in higher (1.5-2 times higher) riverine water temperature values. In tributaries water temperature varied from 10.5 to 21°C , in the Upper Angara R. it increased from upper reach to mouth from 12 to 24°C . Despite a high temperature in July of 2024, dissolved oxygen content in riverine waters remained rather high – 8.2 - 13.0 mg/L . Water saturation with oxygen of major part of water flows, like in July of 2012, was close to 100%, and in the Angarakan and Kotera Rivers it increased up to 128 and 145 % sat., respectively (Fig. 4).

Ions sum in tributaries water in July of 2024 widely varied – from 23 mg/L in the Angarakan R. to 177 mg/L in the Gonkuli R. It is to notice that compared to 2012, ion contents in rivers water was higher (see Fig. 4). If in the Gonkuli R. this exceeding is insignificant (ca. 10%), in the Yanchuy and Kotera RR. Summary ions content in 2024 increased one of 2012 more than twice. Water mineralization in the Upper Angara R. water increased from the source to the mouth due to income of waters from more mineralized tributaries, and in 2024 summary ions content varied from 17.6 to 72.5 mg/L . These values are also higher than ones observed in 2012, especially in middle part of the river (U.A.2), where the exceeding is divisible by 2. By ions content, waters of all investigated rivers are hydrocarbonate ones ($> 40\%$ in ion composition) of calcium group ($> 30\%$) and have a close relative composition (Fig. 5).

Silicon content on the studied site of the Upper Angara River remained rather stable varying within 2.90 - 3.10 mg/L . In waters of the Upper Angara River tributaries, concentrations of this component varied from 1.49 mg/L in the Gonkuli R. to 4.04 mg/L in the Yanchukan R. Like major ions concentrations, silicon content in rivers water in 2024 is slightly higher than one observed in 2012, except the Gonkuli R., where concentrations this year are a little lower than 12 years ago. Phosphate phosphorus concentrations in the Upper Angara River waters were close to ones in

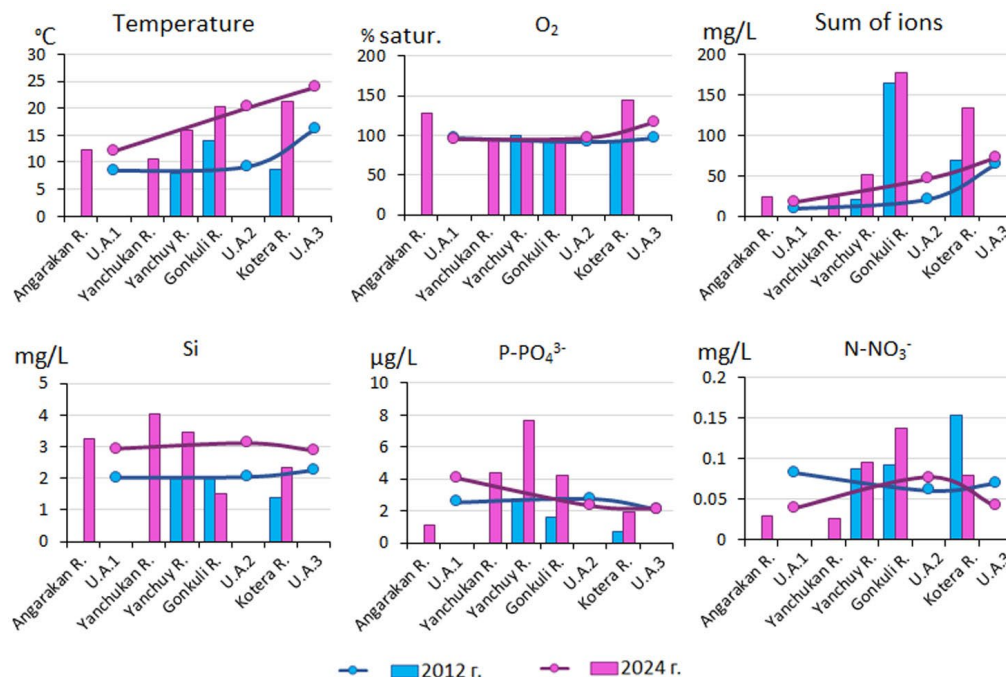


Fig.4. Water temperature and chemicals content in the waters of the Upper Angara R. (line) and of its tributaries (bars), July of 2012 and 2024.

2012 and varied decreasing towards the mouth from 4 to 2 µg/L. In the tributaries the content of this component varied from 1 to 8 µg/L and exceeded the values obtained in 2012 in the Yanchuy R. 3 times, in the Gonkuli and Kotera RR. 2.5 times. Mineral nitrogen in the water of the investigated rivers is presented mainly as nitrate. Concentrations of $N-NO_3^-$ in tributaries water varied from 0.03 to 0.14 mg/L, in the Upper Angara R. they did not exceed 0.08 mg/L. These values are close to ones obtained in July 2012 (Fig. 4) Nitrite nitrogen in the rivers was registered in trace amounts (<0.001 mg/L), ammonia nitrogen concentrations in the Upper Angara R. water did not exceed 0.06 mg/L, in the tributaries its content was higher: The Yanchukan R. – 0.008 mg/L, the Yanchuy R. – 0.020 mg/L, the Gonkuli R. – 0.012 mg/L, the Kotera R. – 0.011 mg/L. Table 2 presents water chemical composition from investigated Lake Baikal tributaries. Data analysis showed that components concentrations are comparable with ones obtained for the Upper Angara R. and its tributaries, relative ion composition is also close (Fig. 5). Minimal ions concentrations we registered in the water of the Rel' R.

The Figure 6 presents data on total content (mineral form + organic one) of nitrogen and phosphorus in water of investigated tributaries. Mainly concentrations of N_{tot} in riverine water during investigation period did not exceed 0.2 mg/L, this characterizes waters of these tributaries as “maximally clean” (Oxiyuk et al., 1993). Waters in the Gonkuli and Kichera Rivers, where concentrations of N_{tot} were 0.34 and 0.39 mg/L, respectively, are in the class “clean”. By content of P_{tot} , category “maximally clean” (<5 µg/L) in July of 2024 concerned waters in such rivers as Angarakan, Upper Angara in upper and middle stream (U.A.1 and U.A.2) and Rel'. Waters of other Upper Angara River tributaries and of its mouth site (U.A.3) as well as the Kichera and Kholodnaya Rivers ones by phosphorus content belong to “clean” ones (<50 µg/L). Maximal concentrations of this component were registered in water of the Tyya R. (52 µg/L), it means a “satisfactory” cleanness class.

According to Roshydromet, the unsatisfactory quality of the waters of the Upper Angara River is also recorded by the content of other standardized components. Thus, in 2022, at the site near the Verkhnyaya Zaimka setl., the concentrations of volatile phenols in

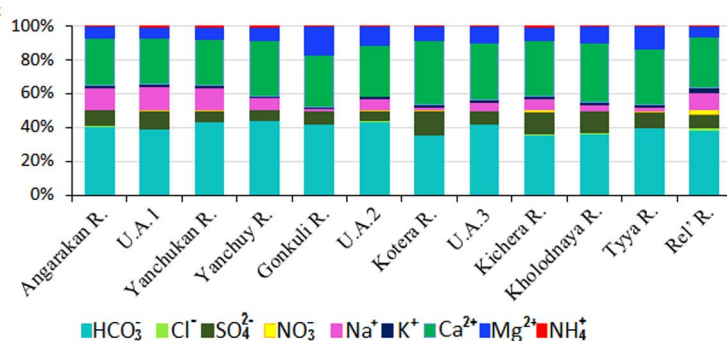


Fig.5. Relative ion composition of riverine waters, July of 2024.

Table 2. Temperature and chemicals content in the waters of Lake Baikal tributaries, July of 2024.

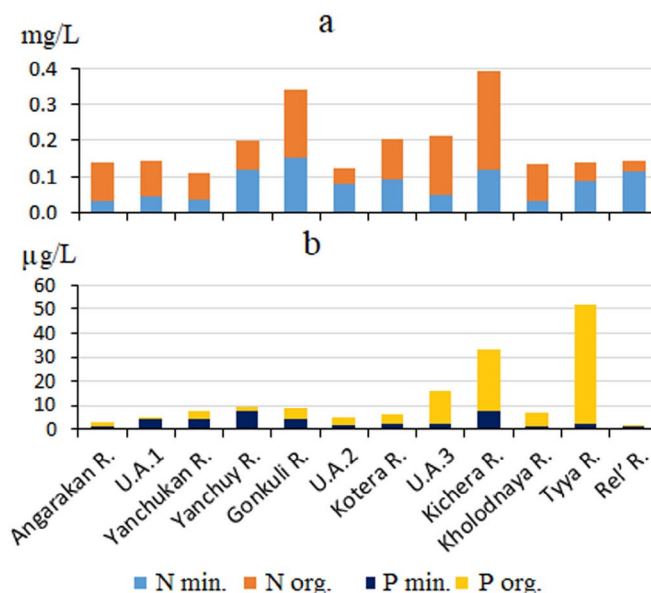
Water flows	T	O ₂	Ions sum	Si	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄
	°C	mg/L						µg/L
Kichera R.	18.8	9.36	31.2	2.58	0.001	0.11	0.008	7
Kholodnaya R.	13	9.73	59.1	2.16	<0.001	0.03	<0.005	<1
Tyya R.	16.4	9.01	69.1	2.38	<0.001	0.08	<0.005	1
Rel' R.	16.1	9.51	11.4	2.07	<0.001	0.12	<0.005	1

the water rose to 0.002 mg/L (2 MAC), organic substances according to COD up to 31.6 mg/L (2.1 MAC), oil products up to 0.08 mg/L (1.6 MAC). Pollution of river waters with iron compounds– 0.41 mg/L (4.1 MAC), copper – 21.7 µg /L (21.7 MAC) and zinc – 20.5 µg /L (2.1 MAC) was also noted. (State report «On the state of Lake Baikal...», 2023). Roshydromet characterized water quality of the Upper Angara River in 2022 as «very polluted».

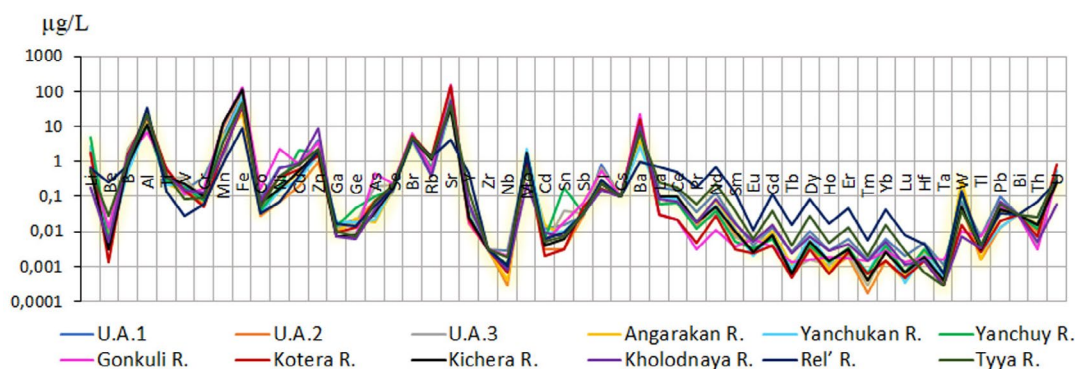
3.2. Trace elements

High contents of Li, Al, Fe, Mn, Ba, Sr, Zn, Mo, W, U are found for all rivers. Such elements as Mn, Fe, Al are mobile in permafrost taiga landscapes, a large amount of them incomes with background non-polluted riverine waters. Degree of Fe accumulation can exceed normative for fishery water bodies (Koshovsky et al., 2019). Trace elements distribution profile is presented in the Figure 7.

Cluster analysis method (software STATISTICA) revealed two groups of rivers with similar distribution of trace element in them characterizing rocks composition in water catchment basin and rivers supply sources (Fig. 8). The first group includes such rivers as Upper Angara 1, Upper Angara 3 (Verkhnyaya Zaimka) and Kotera, as well as Kholodnaya and Tyya. The second one includes the Kichera and Upper Angara (middle current) Rivers and the latter's tributaries – the Angarakan, Yanchukan, Yanchuy RR. The Gonkuli and Rel' Rivers were not included to any group. This may be due to the fact that the former is enriched with such mobile elements as Sr, Ba and U. The latter is the least mineralized among all rivers (due to small water catchment area and atmospheric supply) and is characterized by high contents of rare Earth elements, tungsten and thorium incoming into the river mainly as clastic material.

**Fig.6.** Total content of nitrogen (a) and phosphorus (b) in riverine waters, July of 2024.

The rivers in Severobaikal'sk Province of Buryat Republic are very impacted anthropogenically due to construction of a railway branch of BAM. Compared to 2012, major part of rivers manifests enrichment with some trace elements (Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, W, Pb, Th, U). There is exceeding of fishery normative by manganese, iron, copper and molybdenum (Fig. 9) (Order of Ministry of Agriculture..., 2016). In July of 2012, MPC exceed by copper was registered in water of the Kotera R., by molybdenum in the Upper Angara R. mouth, in the Kichera and Rel' RR., by manganese in the Gonkuli R. water.

**Fig.7.** Trace elements content in river water, July of 2024.

3.3. Phytoplankton

The investigations showed that in July of 2024 phytoplankton biomass and abundance in the upper reach of the Upper Angara River (U.A.1) in its tributaries remained rather low (Fig. 10). Minimal values were observed in the Kotera R. Where algae biomass did not exceed 4.8 mg/m³, and abundance – 2.8 thous. cells/L. Samples from this river show a high content of mineral suspended matter, this results probably from gold mining on the tributaries of this river; probably, a high turbidity limits phytoplankton development.

Along the Upper Angara River, from upper reach to mouth, quantitative parameters of algae increase: minimal values of phytoplankton abundance and biomass were found in the river upper reach (U.A.1) – 12.3 thous.cells./L and 9.8 mg/m³, respectively; maximal ones were registered on mouth site (U.A.3) where phytoplankton abundance exceeded 4 mln cells/L, and biomass 1 g/m³.

The Table 3 presents data on phytoplankton biomass and abundance in water of tributaries incoming into Lake Baikal northern basin. The values are comparable to ones obtained in waters of the Upper Angara River (except near-mouth site) and in its tributaries.

Algae species diversity on upper and middle sites of the Upper Angara River was considerably lower (16 and 17 taxa) than on mouth site (69 taxa). Among the species in the river (U.A.1–U.A.2–U.A.3), green (2–4–25) and diatom (8–10–20) algae dominated. By biomass, dominant unit included diatom (42.5–46.3–63.2%), cryptophyte (3.8–39.0–30.9%) and blue-green (51.0–7.3–1.1%) algae. (Fig. 11). In waters of the

Table 3. Biomass (mg/m³) and abundance (thous.cells/L) of phytoplankton in Lake Baikal tributaries, July of 2024

Water flows	Biomass	Abundance
Kichera R.	44.5	18.8
Kholodnaya R.	5.9	3.6
Tyya R.	44.7	39.9
Rel' R.	3.7	1.6

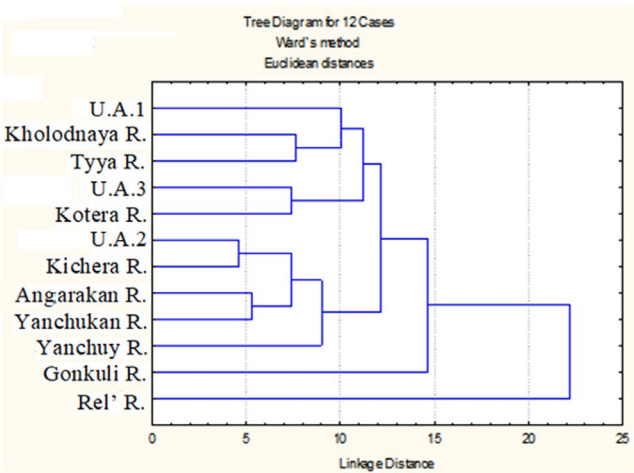


Fig.8. The results of cluster analysis of rivers distribution by their trace element composition.

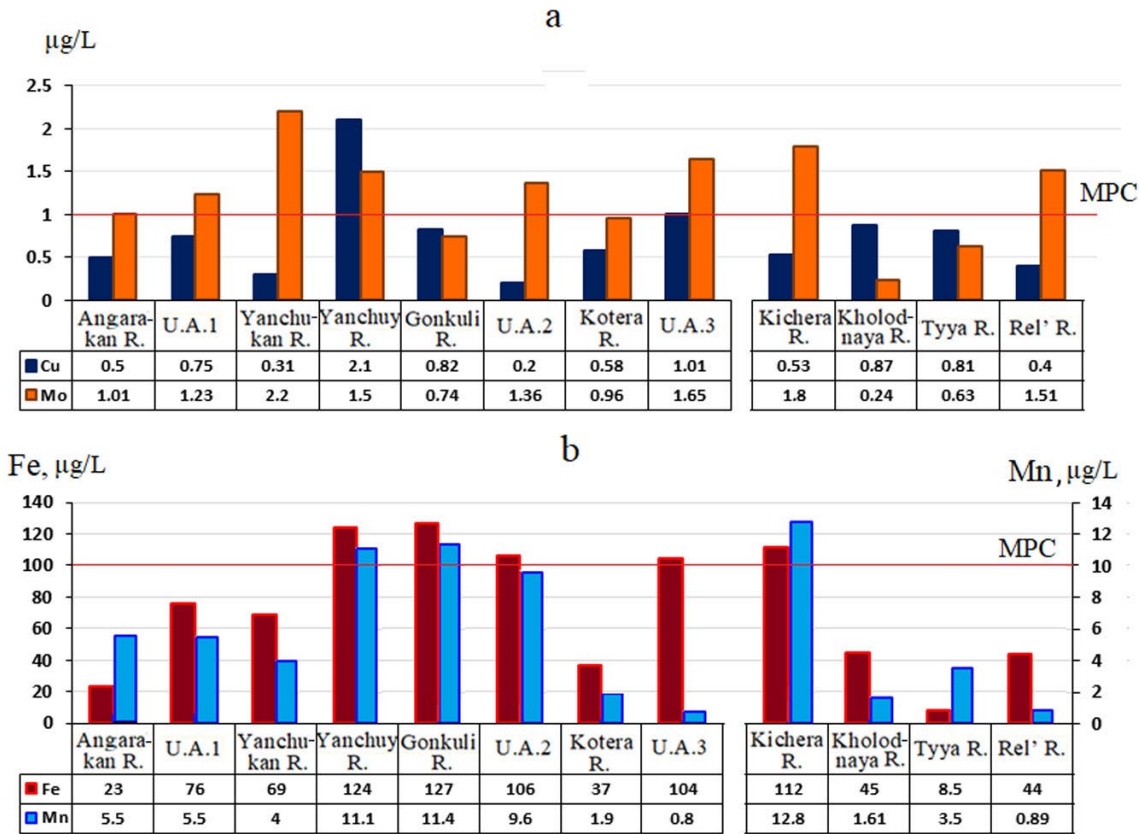


Fig.9. Content of copper and molybdenum (a), iron and manganese (b) in riverine water, July of 2024.

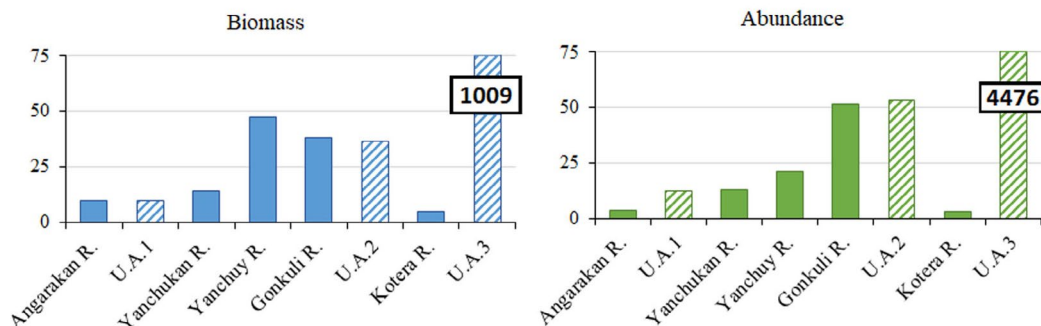


Fig.10. Biomass (mg/m³) and abundance (thous.cells/L) of phytoplankton in the Upper Angara R. and in its tributaries, July of 2024.

Upper Angara River diatoms were dominated by species of the genera *Stephanodiscus*, *Synedra*, *Cyclotella*, *Tabellaria*, *Aulacoseira*, cryptophytes – by *Rhodomonas pusilla*, *Cryptomonas sp.1*, blue-green algae were presented by *Oscillatoria* and *Phormidium*.

Waters of such tributaries as Yanchukan, Yanchuy, Gonkuly and Kichera phytoplankton included dinophyte algae (30-70%) represented by *Gyrodinium helveticum*. The Kichera and Tytya Rivers contained green algae – up to 25% of total phytoplankton composition (Fig. 11).

3.4. Microbiology

Investigations of microorganisms groups in the Upper Angara R. and in its tributaries showed that the abundance of organotrophic bacteria in most cases in July of 2024 was lower than in 2012, and counted in average 564 and 645 CFU/cm³, respectively (Table 4). Values of total microbial count (TMC) in 2024 were by one order of magnitude lower than in 2012.

Determination of sanitary groups of microorganisms in water of investigated rivers showed that in 2012 and 2024 major part of collected samples did not meet standards. Samples of U.A.3 in 2012 and U.A.2 in 2024 met normatives by all parameters. Eleven samples of fourteen ones had exceeded in enterococci abundance, at normative value up to 10 CFU/100 cm³ it varied from 15 to 120 CFU/100 cm³. In 2024, in waters of all inves-

tigated water flows, values of *E. coli* did not exceed normative. In 2012, the value of this parameter >100 CFU/100 cm³ occurred in the Gonkuli R. (243 CFU/100 cm³). In 2024, the abundance of coliform bacteria (CB) exceeded the normative (500 CFU/100 cm³) in waters of the Gonkuli R. – 900 CFU/100 cm³, in the Kotera R. – 744 CFU/100 cm³ and on mouth site of the Upper Angara R. (U.A.3) – 1640 CFU/100 cm³.

High microorganisms abundance exceeding permissible by normatives of Sanitary rules and normatives was observed in the Gonkuli R. in 2012 (*E. coli* by 2.4 times, enterococci by 1.8 time) and 2024 (CB – 1.8 time and enterococci – 4.3 times), and in lower stream of the Upper Angara R., in 2024, one registered exceed of CB by 3.3 times, enterococci – by 4.2 times.

Microbiological investigations of the Kichera, Kholodnaya, Rel' and Tytya Rivers showed a high abundance of organotrophic bacteria in the Kichera and Tytya RR. Difference between years are insignificant (Fig. 12). TMC in riverine waters in 2024 is by one order of magnitude lower than in 2012, except the Kichera R., where the abundance differed insignificantly and counted 112 and 182 CFU/cm³, respectively. There were insignificant exceedings of normatives by content of microorganisms of sanitary-indicator groups in 2024 in waters of the Kichera R. (enterococci – 14 CFU/100 cm³) and of the Tytya R. (CB – 518 CFU/100 cm³).

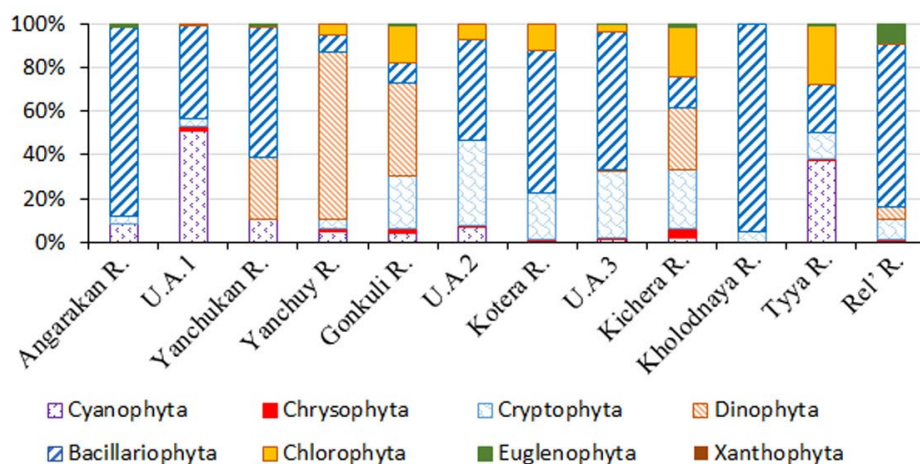


Fig.11. Relative composition (by biomass) of phytoplankton in riverine water, July of 2024.

Table 4. Microorganisms abundance in the water of the Upper Angara R. and of its tributaries in July of 2012 and 2024

Water flow	CB, CFU/100 cm ³	Organotrophs, CFU/cm ³		TMC, CFU/cm ³		<i>E. coli</i> , CFU/100 cm ³		Enterococci, CFU/100 cm ³	
	2024	2012	2024	2012	2024	2012	2024	2012	2024
Angarakan R.	208	-	260	-	26	-	0	-	15
U.A.1	476	650	365	420	42	28	0	30	16
Yanchukan R.	172	-	224	-	26	-	0	-	31
Yanchuy R.	416	860	473	600	20	22	0	120	17
Gonkuli R.	900	472	682	234	44	243	72	18	43
U.A.2	434	960	260	288	22	18	10	30	9
Kotera R.	744	591	395	372	22	15	0	40	9
U.A.3	1640	338	1209	136	40	11	60	0	42
Normative*	Max. 500					Max. 100		Max. 10	

Note: * – Sanitary Rules & Normatives 1.2.3685-21

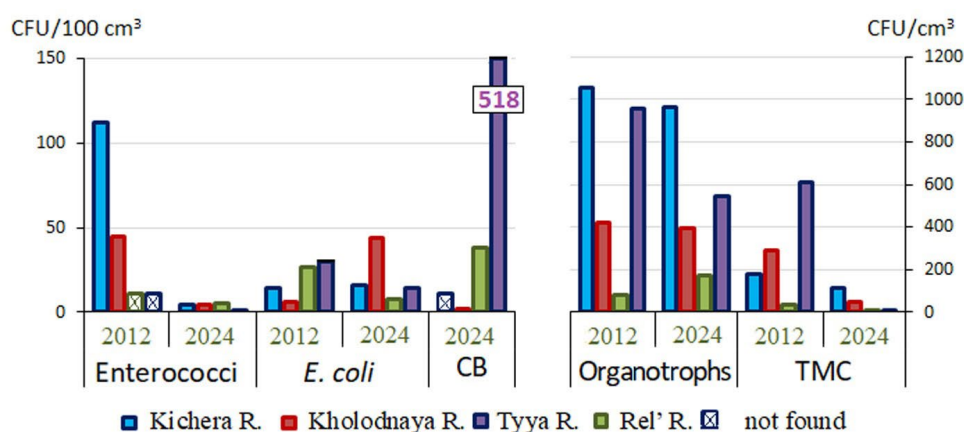
4. Conclusions

Studies in July of 2024 showed the following:

- Waters in the Upper Angara R. and in the investigated tributaries have a similar relative ion composition and are related to hydrocarbonate-calcium ones. Water mineralization in the Upper Angara R. increased in July from upper stream to mouth by 4 times due to income of more mineralized tributaries. Compared to July of 2012, there was a considerable increase of content of major ions in water of some tributaries (Yanchuy, Kotera) and in middle current of the Upper Angara River. Here summary content of ions increased by 2 times.
- By content of nitrogen and phosphorus combinations, water quality in the studied water flows is mainly characterized as “maximally clean” and “clean” ones. Only waters of the Tyya R. in lower stream by content of P_{tot} were classified as “moderately clean”.
- Compared to July of 2012, enrichment with some trace elements (Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, W, Pb, Th, U) was noticed for majority of investigated rivers. Exceeding of some normatives was found out: by copper (the Yanchuy R.

and mouth site of the Upper Angara R), by molybdenum (at all stations of the Upper Angara River, in the Angarakan, Yanchukan, Yanchuy, Kichera and Rel' RR.), by iron (the Yanchuy, Gonkuli RR., middle and lower current of the Upper Angara R.) and by manganese (the Yanchuy, Gonkuli, Kichera RR.).

- Phytoplankton abundance and biomass in the investigated water flows are insignificant and mainly did not exceed values for oligotrophic water bodies. An exception is lower part of the Upper Angara R. in the area of Verkhnyaya Zaimka settl. where phytoplankton abundance and biomass reached values characteristic for mesotrophic water bodies.
- Total microbial count in waters of the investigated water flows decreased by one order of magnitude compared to 2012 and was in average 30 CFU/cm³. Determination of microorganisms sanitary groups showed as well a trend to water quality improvement. In 2024, there is no exceeding of normative of abundance of *E. coli* with minimal values equal to zero. The abundance of bacteria of the genus *Enterococcus* exceeded permissible values in some rivers, however, it was mainly lower than in July of 2012.

**Fig.12.** Microorganisms abundance in tributaries water in July of 2012 and 2024.

Acknowledgements

The work was done within topics of State assignment № 0279-2021-0005, № 0279-2021-0014 and № 0279-2021-0015.

Conflict of interest

The authors declare the absence of conflict of interests.

References

- Aries S., Valladon M., Polvé M. et al. 2000. A Routine Method for Oxide and Hydroxide Interference Corrections in ICP-MS Chemical Analysis of Environmental and Geological Samples. *Geostandards Newsletter* 24: 19-31. DOI: [10.1111/j.1751-908X.2000.tb00583.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2000.tb00583.x)
- Baram G.I., Vereshchagin A.L., Golobokova L.G. 1999. Usage of microcolumn high performance liquid chromatography with UV-detection for determination of anions in environmental objects. *Analiticheskaya Himiya [Analytical Chemistry]* 54(9): 962-965. (in Russian)
- Belykh O.I., Bessudova A.Yu., Gladkikh A.S. et al. 2011. Guide for Determination of Plankton Species Biomass from Lake Baikal Pelagic Zone. *Methodological Manual*. Irkutsk: ISU Publishing House. (in Russian)
- GOST 31942-2012. 2014. International Standard. Water. Sampling for a Microbiological Analysis. Moscow: Standardinform. (in Russian)
- Kozhova O.M., Mel'nik N.G. 1978. Instruction for Plankton Samples Treatment Using Enumerative Techniques. Irkutsk: ISU Publishing House. (in Russian)
- Koshovsky T.S., Sanin A.Yu., Puzanova T.A. et al. 2019. Geochemical impact of Kholodnaya lead-zinc deposit onto aquatic landscapes of Northern Pre-Baikal. *Vodnoe hozyajstvo Rossii [Water management of Russia]* 5: 49-62. (in Russian)
- MG 4.2.3963-23. 2023. Bacteriological Methods for Water Investigation. Moscow: Rospotrebnadzor Federal Center of Hygiene and Epidemiology. (in Russian)
- Oxiyuk O.P., Zhukinsky V.N., Braginsky L.P. et al. 1993. Integrated ecological classification of the quality of surface inland waters. *Gidrobiologicheskij zhurnal [Hydrobiological Journal]* 4: 62-76. (in Russian)
- Popovskaya G.I. 1991. Phytoplankton in Lake Baikal and Its Perennial Variations (1958–1990). Synopsis of Thesis for Dr. in Biol. Sci. degree, Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia. (in Russian)
- Order of Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 N 552, with changes of June 13, 2024. 2016. "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance". (in Russian)
- Statement of the Government of the Russian Federation of April 28, 2021. URL: <http://government.ru/docs/42120/> (application date August 1, 2025). (in Russian)
- Guide for Chemical Analysis of surface inland waters. 2009. In: Boeva L.V. (Ed.). R-n-D: NOK. (in Russian)
- Sanitary Rules & Normatives 1.2.3685-21. 2021. "Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans". (in Russian)
- Severobaikalsk Province of Buryat Republic. 2024. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Байкальский_район (application date December 1, 2024) (in Russian)
- State report «On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2022». 2023. Ministry of Environmental Protection and Ecology of the Russian Federation. Moscow: 90-91. (in Russian)
- Tomberg I.V., Sorokovikova L.M., Sinyukovich V.I. et al. 2024. Formation of chemical composition of North Baikal waters in the zone of mixing with tributaries waters. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology & Hydrology]* 3: 1-13. DOI: [10.52002/0130-2906-2024-3-98-110](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2024-3-98-110) (in Russian)
- Chebykin E.P., Sorokovikova L.V., Tomberg I.V. et al. 2012. Modern state of the Selenga R. waters on the territory of Russia by major components and trace elements. *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya [Chemistry for Sustainable Development]* 20(5): 613-631. (in Russian)

Гидрохимические и гидробиологические исследования р. Верхняя Ангара и ее притоков



Томберг И.В.*^{ORCID}, Степанова О.Г.^{ORCID}, Воробьева С.С.^{ORCID}, Суслова М.Ю.^{ORCID}

Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск, 664033, Россия

АННОТАЦИЯ. Представлены результаты гидрохимических и гидробиологических исследований, проводимых в бассейне р. Верхняя Ангара и на притоках Северного Байкала. Отмечено 4-х кратное увеличение минерализации воды р. В. Ангара от истоков к устью в результате поступления вод притоков с высокой минерализацией. По сравнению с предыдущими исследованиями зарегистрировано обогащение вод исследованных водотоков микроэлементами. При этом в воде отдельных рек зафиксировано превышение нормативов по меди, молибдену, железу и марганцу. Определение санитарных групп микроорганизмов показало тренд на улучшение качества речных вод.

Ключевые слова: Верхняя Ангара и притоки, ионный состав, биогенные элементы, микрокомпоненты, фитопланктон, санитарно-показательные микроорганизмы

Для цитирования: Томберг И.В., Степанова О.Г., Воробьева С.С., Суслова М.Ю. Гидрохимические и гидробиологические исследования р. Верхняя Ангара и ее притоков // Limnology and Freshwater Biology. 2025. - № 4. - С. 919-936. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-A-4-919

1. Введение

Река Верхняя Ангара – второй по водности приток озера Байкал, длиной 438 км, берет начало на Делюн-Уранском хребте и оканчивается дельтой в северной части озера. Одним из основных источников загрязнения водотоков в бассейне В. Ангара являются железнодорожная ветка Байкало-Амурской магистрали (БАМ) и дублирующая ее автодорога, длина которых в пределах водосбора составляет более 250 км. В апреле 2021 г. распоряжением правительства № 1100-р (<http://government.ru/docs/42120/>) инициированы работы по расширению БАМ. В рамках проекта запланировано строительство второй ветки путепровода, что предусматривает добычу камня и песчано-гравийной смеси для отсыпки полотна, строительство мостов через водотоки, все это ведет к увеличению антропогенной нагрузки в бассейне В. Ангара (Рис. 1).

Исследования, проводимые Лимнологическим институтом в рамках бюджетного проекта в 2012 г., показали неудовлетворительное качество воды р. В. Ангара и притоков по микробиологическим показателям, что вероятно обусловлено поступлением в русло рек хозяйственно-бытовых стоков поселков. Однако, за последние 12 лет численность населения, проживающего на территории водосборного

бассейна р. В. Ангара снизилась практически на треть (Таблица 1), что позволяет ожидать улучшения санитарно-микробиологической ситуации и повышению качества воды в водотоках.

К опасным токсикантам, попадающим в русла рек в результате хозяйственной деятельности человека относятся тяжелые металлы (Fe, Cu, Zn и другие). Одним из источников поступления микрокомпонентов в реки Северного Байкала может являться Холоднинское месторождение полиметаллических руд, которое в настоящее время не эксплуатиру-

Таблица 1. Численность населения (чел.) проживающего на территории водосборного бассейна р. В. Ангара (https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Байкальский_район)

Населенный пункт	2012 г.	2024 г.
пгт. Новый Уоян	3835	2660
пгт. Кичера	1321	851
пос. Ангоя	662	524
с. Верхняя Заимка	618	478
пос. Кумора	536	391
пгт. Янчукан	362	230
пос. Уоян	325	274
Всего	7659	5408

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: kaktus@lin.irk.ru (И.В. Томберг)

Поступила: 25 июля 2025; **Принята:** 15 августа 2025;

Опубликована online: 31 августа 2025

© Автор(ы) 2025. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.





Рис.1. Строительство второй ветки БАМ в бассейне р. В. Ангара, июль 2024 г.

ется и находится в законсервированном состоянии. Кроме того, в верховьях притоков (р. Котера) ведется добыча золота. Исследования, проводимые в 2012 г. показали превышение ПДК по меди в воде рек В. Ангара и Рель, в воде рек Холодная и Тья концентрации микроэлементов были незначительные и не превышали нормативы предельно допустимых концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения (Приказ Министерства сельского хозяйства..., 2016).

Еще один источник, оказывающий влияние не только на динамику водного стока северных рек, но и на содержание химических компонентов в воде притоков это вытаивание льда в деградирующих многолетнемерзлых породах (Томберг и др., 2024). При этом в русло рек поступает большое количество обогащённого органикой терригенного материала (Рис. 2).

Совокупность этих факторов обуславливает необходимость проведения регулярных исследований по оценке качества воды, как в бассейне В. Ангара, так и на водосборах других притоков Северного Байкала.

Цель исследования – анализ современного химического состава вод р. В. Ангара и ее притоков,

исследование численности, биомассы и видового разнообразия фито- и бактериопланктона, оценка качества вод по химическим и микробиологическим показателям.

2. Материалы и методы

В июле 2024 г. были отобраны пробы воды В. Ангара на трех участках по длине реки: В.А.1 – верховья реки, примерно в 350 км от устья; В.А.2 – средний участок реки в районе пгт. Новый Уоян, примерно в 130 км от устья; В.А.3 – устьевой участок в районе пос. Большая Заимка, около 18 км от устья. Для исследования также были взяты пробы воды пяти притоков В. Ангара – Ангаракан, Янчукан, Янчуй, Гонкули и Котера. Кроме того, проведен отбор образцов на устьевых участках притоков Байкала – реках Кичера, Холодная, Тья и Рель (Рис. 3). По подобной схеме исследования проводились в июле 2012 г., что позволило не только определить химические и биологические параметры в воде рек, поставляющих в Байкал до 20% воды, но и сравнить современные данные с полученными 12 лет назад.



Рис.2. Вытаивание мерзлоты в ложе русла В. Ангара (район пос. Верхняя Заимка) при низкой водности реки, октябрь 2015 г.

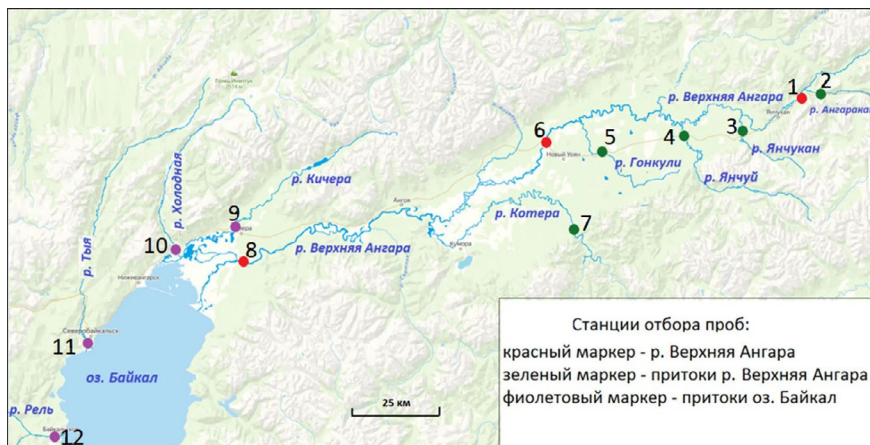


Рис.3. Схема отбора проб, июль 2024 г. Станции: 1 – р. В. Ангара ниже впадения р. Ангаракан (В.А.1), 2 – р. Ангаракан, 3 – р. Янчукан, 4 – р. Янчуй, 5 – р. Гонкули, 6 – р. В. Ангара ниже пгт. Новый Уоян (В.А.2), 7 – р. Котера, 8 – р. В. Ангара в пос. Верхняя Заимка (В.А.3), 9 – р. Кичера, 10 – р. Холодная, 11 – р. Туга, 12 – р. Рель.

Определение химического состава воды выполнялось по методикам, общепринятым в гидрохимии пресных вод (Барам и др., 1999; Руководство..., 2009). Содержание общего азота, фосфора и органического вещества определялось в нефiltroванных пробах, для определения основных ионов и биогенных элементов пробы фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. Концентрации биогенных элементов измеряли на спектрофотометре UNICO-2100 (США): нитриты с реактивом Грисса, нитраты - с салицилово-кислым натрием, аммонийный азот - индофенольным методом, фосфаты - методом Дениже-Аткинса с хлористым оловом в качестве восстановителя. Для определения кремниевой кислоты использован спектрофотометрический метод, основанный на измерении интенсивности окраски желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты. Для определения содержания общего фосфора и азота использовалось высокотемпературное персульфатное окисление с последующим измерением на спектрофотометре. Определение концентраций ионов HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} - проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с непрямой УФ-детекцией. Метод основан на разделении анионов на колонке с обращенной фазой, динамически модифицированной бромидом октадецилтриметиламмония. Содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} определяли абсорбционным методом, основанным на измерении резонансного поглощения света свободными атомами кальция и магния. Концентрации Na^+ и K^+ измеряли пламенно-эмиссионным методом. Метод основан на измерении абсолютной интенсивности излучения атомов натрия и калия при возбуждении их в пламени ацетилен-воздух.

Определение микроэлементного состава рек выполнено на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500se. Анализ образцов и ошибки определения выполняли по методике, описанной в работах Чебыкина Е.П. (2012) и Aries S. (2000).

Для определения фитопланктона пробы воды объемом 1 дм³ фиксировали раствором Люголя и концентрировали путем осаждения. Подсчет водорослей велся на предметном стекле, куда помещали

каплю пробы объемом 0.1 см³. Каплю покрывали покровным стеклом с ножками из воска, предметное стекло переносили на столик микроскопа (Кожова и Мельник, 1978; Поповская, 1991). Подсчет выполняли дважды на световом микроскопе Amplival (Германия) с увеличением $\times 800$ и $\times 2000$. Биомассу определяли с учетом объема отдельных клеток (Белых и др., 2011; Кожова и Мельник, 1978).

Для микробиологических исследований пробы речных вод отбирали по ГОСТ 31942-2012 и осуществляли анализ согласно МУК 4.2.3963-23.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Гидрохимия

На Рисунке 4 представлены изменения содержания некоторых химических компонентов по длине р. В. Ангара и в ее притоках в июле 2012 и 2024 гг. В оба года исследования на реках проходили в меженных условиях, однако высокие температуры воздуха в июне-июле 2024 г. стали причиной более высоких (в 1.5-2 раза выше) значений температуры речной воды. В воде притоков температура варьировала от 10.5 до 21°C, в В. Ангаре увеличивалась от верховий к устью с 12 до 24°C. Несмотря на высокую температуру в июле 2024 г. содержание растворенного кислорода в речных водах оставалось достаточно высоким – 8.2-13.0 мг/дм³. Насыщение воды кислородом большинства водотоков, как и в июле 2012 г., было близко к 100%, а в реках Ангаракан и Котера повышалось до 128 и 145 % нас., соответственно (Рис. 4).

Сумма ионов в воде притоков в июле 2024 г. изменялась в широких пределах – от 23 мг/дм³ в р. Ангаракан, до 177 мг/дм³ в р. Гонкули. Следует отметить, что по сравнению с 2012 г. содержание ионов в воде рек было выше (см. Рис. 4). И если в р. Гонкули это превышение незначительно (около 10%), то в рр. Янчуй и Котера суммарное содержание ионов в 2024 г. более чем в 2 раза превышало таковое в 2012 г. Минерализация воды р. В. Ангара увеличивалась от истока к устью за счет поступления вод более минерализованных притоков и в 2024 г. суммарное содержание ионов изменялась от 17.6

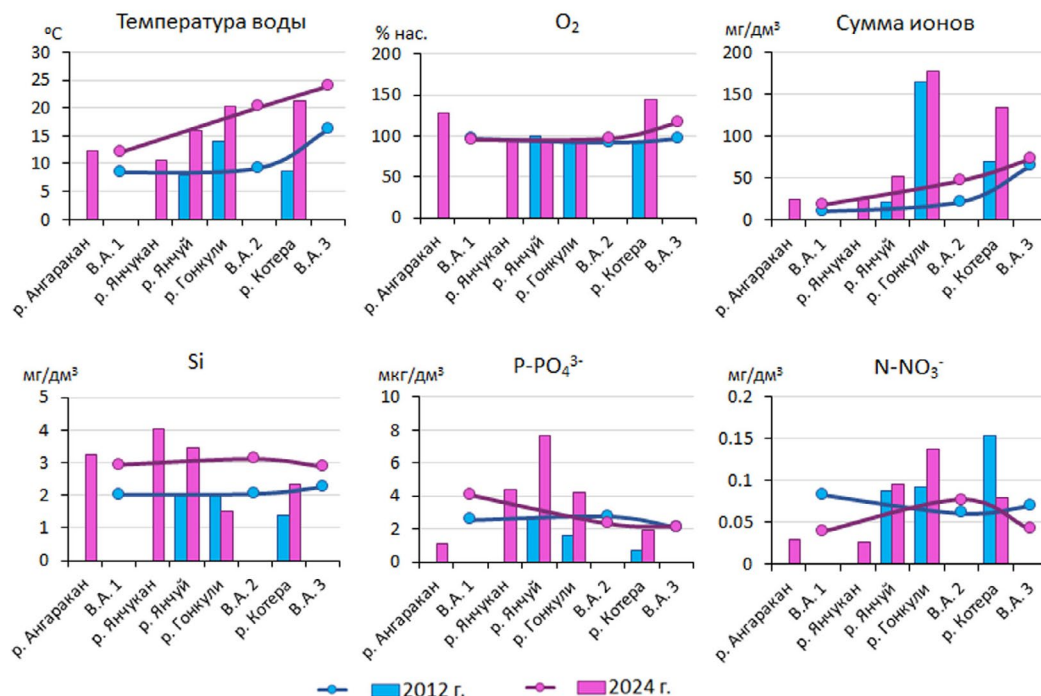


Рис.4. Температура воды и содержание химических компонентов в водах В. Ангары (линия) и ее притоков (столбы), июль 2012 и 2024 гг.

до 72.5 мг/дм³. Эти значения также выше наблюдаемых в 2012 г., особенно в средней части реки (В.А.2), где превышение кратно 2. По содержанию ионов воды всех исследованных рек относятся к гидрокарбонатным (более 40% в ионном составе) группы кальция (свыше 30%) и имеют близкий относительный состав (Рис. 5).

Содержание кремния на исследованном участке В. Ангары оставалось достаточно стабильным, варьируя в пределах 2.90-3.10 мг/дм³. В водах притоков В. Ангары концентрации этого компонента изменялись от 1.49 мг/дм³ в р. Гонкули до 4.04 мг/дм³ в р. Янчукан. Как и концентрации основных ионов, содержание кремния в воде рек в 2024 г. несколько выше, чем наблюдаемое в 2012 г., за исключением р. Гонкули, где концентрации в этом году немного ниже, чем 12 лет назад. Концентрации фосфатного фосфора в водах В. Ангары были близки к таковым в 2012 г. и изменялись, снижаясь к устью, с 4 до 2 мкг/дм³. В притоках содержание этого компонента варьировало от 1 до 8 мкг/дм³ и превышало полученные в 2012 г. величины в р. Янчуй в 3 раза, в р. Гонкули и р. Котера в 2.5 раза. Минеральный азот в воде исследованных рек представлен в основном нитратной формой. Концентрация N-NO₃⁻ в

воде притоков варьировала от 0.03 до 0.14 мг/дм³, в В. Ангаре не превышали 0.08 мг/дм³. Эти значения близки к таковым, полученным в июле 2012 г. (Рис. 4) Нитритный азот в реках регистрировали в следовых количествах (менее 0.001 мг/дм³), концентрации аммонийного азота в воде В. Ангары не превышали 0.06 мг/дм³, в притоках его содержание было выше: р. Янчукан – 0.008 мг/дм³, р. Янчуй – 0.020 мг/дм³, р. Гонкули – 0.012 мг/дм³, р. Котера – 0.011 мг/дм³. В Таблице 2 представлен химический состав воды исследованных притоков Байкала. Анализ данных показал, что концентрации компонентов, сопоставимы с полученными для р. В. Ангары и ее притоков, близкий и относительный ионный состав (Рис. 5). Минимальные концентрации ионов регистрировали в воде р. Рель.

На Рисунке 6 представлены данные об общем содержании (минеральная форма + органическая) азота и фосфора в воде исследованных притоков. В основном концентрации N_{общ} в речной воде в период исследования не превышали 0.2 мг/дм³ что характеризует воды этих притоков как «предельно чистые» (Оксиюк и др., 1993). Воды рек Гонкули и Кичера в которых концентрации N_{общ} были равны 0.34 и 0.39 мг/дм³, соответственно, относятся к классу

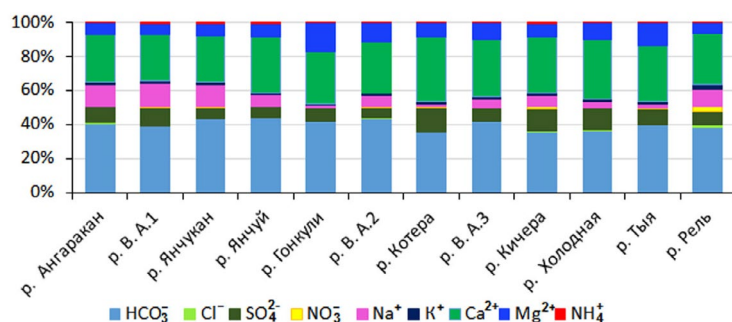


Рис.5. Относительный ионный состав речных вод, июль 2024 г.

Таблица 2. Температура и содержание химических компонентов в водах притоков Байкала, июль 2024 г.

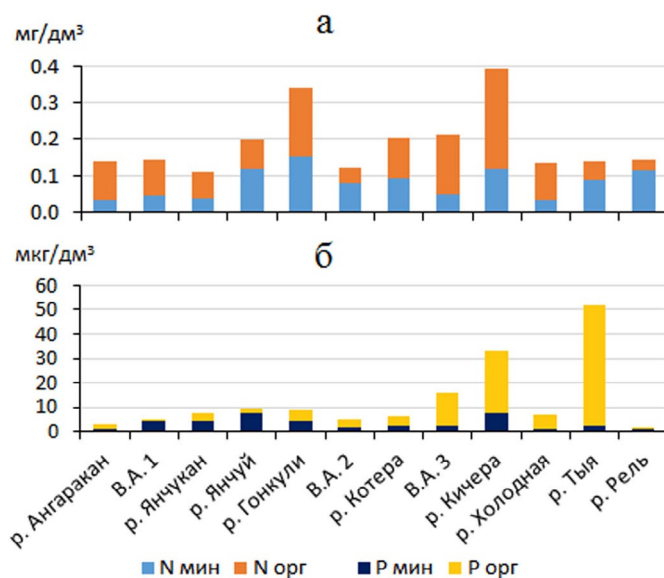
Водотоки	T	O ₂	Сумма ионов	Si	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄
	°C				мг/дм ³			мкг/дм ³
Кичера	18.8	9.36	31.2	2.58	0.001	0.11	0.008	7
Холодная	13	9.73	59.1	2.16	<0.001	0.03	<0.005	<1
Тыя	16.4	9.01	69.1	2.38	<0.001	0.08	<0.005	1
Рель	16.1	9.51	11.4	2.07	<0.001	0.12	<0.005	1

«чистые». По содержанию $P_{\text{общ}}$ к категории «предельно чистые» ($< 5 \text{ мкг/дм}^3$) в июле 2024 г. относились воды рек Ангаракан, В. Ангара в верхнем и среднем течении (В.А.1 и В.А.2) и Рель. Воды остальных притоков В. Ангара и ее устьевая часть (В.А.3), а также рек Кичера и Холодная по содержанию фосфора относятся к классу «чистые» ($< 50 \text{ мкг/дм}^3$). Максимальные концентрации этого компонента регистрировали в воде р. Тыя (52 мкг/дм³), что соответствует «удовлетворительному» классу чистоты.

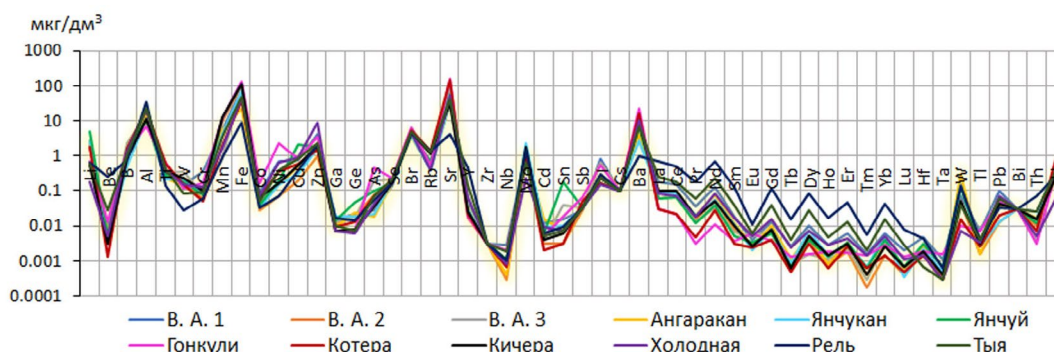
По данным ФГБУ «Забайкальское УГМС» Росгидромета неудовлетворительное качество воды в нижнем течении р. В. Ангара регистрируется и по содержанию других нормируемых компонентов. Так в 2022 г. в створе у пос. Верхняя Заимка концентрации летучих фенолов в воде поднимались до 0.002 мг/дм^3 (2 ПДК), органических веществ по ХПК до 31.6 мг/дм^3 (2.1 ПДК), нефтепродуктов до 0.08 мг/дм^3 (1.6 ПДК). Отмечается и загрязнение речных вод соединениями железа – 0.41 мг/дм^3 (4.1 ПДК), меди – 21.7 мкг/дм^3 (21.7 ПДК) и цинка – 20.5 мкг/дм^3 (2.1 ПДК) (Гос. доклад «О состоянии оз. Байкал...», 2023). По данным Росгидромета качество воды р. Верхней Ангара в 2022 году характеризовалось как «очень загрязненная».

3.2. Микрокомпоненты

Для всех исследованных рек в июле 2024 г. также были отмечены высокие содержания Li, Al, Fe, Mn, Ba, Sr, Zn, Mo, W, U. Такие элементы как Mn, Fe, Al подвижны в мерзлотных таежных ландшафтах и большое количество их поступает с фоновыми, незагрязненными речными водами. Степень накопления Fe может превышать нормативы для рыбохозяйственных водоемов (Кошовский и др., 2019). Профиль распределения микрокомпонентов представлен на Рисунке 7.

**Рис.6.** Общее содержание азота (а) и фосфора (б) в речных водах, июль 2024 г.

Метод кластерного анализа (программа STATISTICA) выделил две группы рек со схожим распределением микрокомпонентов в них, характеризующих состав пород водосборного бассейна и источники питания рек (Рис. 8). В первую группу вошли реки: В. Ангара 1, В. Ангара 3 (Верхняя Заимка) и р. Котера, а также Холодная и Тыя. Во вторую группу вошли Кичера, В. Ангара в среднем течении, и её притоки – рр. Ангаракан, Янчукан, Янчуй. Реки Гонкули и Рель не вошли ни в одну из групп. Это может быть связано с тем, что первая обогащена такими подвижными элементами как Sr, Ba и U. Вторая имеет самую низкую минерализацию из всех рек (за счет небольшой площади водосбора и атмосферного питания) и отличается высокими содержаниями редкоземельных элементов, вольфрама и тория, поступающих в реку в основном в виде кластического материала.

**Рис.7.** Микроэлементный состав речных вод, июль 2024 г.

Реки Северо-Байкальского района республики Бурятия испытывают большую антропогенную нагрузку в связи со строительством железнодорожной ветви БАМ. По сравнению с 2012 г. для большинства рек наблюдается обогащение некоторыми микроэлементами (Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, W, Pb, Th, U). При этом превышение рыбохозяйственных нормативов зафиксировано по марганцу, железу, меди и молибдену (Рис. 9) (Приказ Министерства сельского хозяйства..., 2016). В июле 2012 г. превышение ПДК по меди регистрировали в воде р. Котеры, по молибдену в устье В. Ангара, Кичеры и Рели, по марганцу в воде р. Гонкули.

3.3. Фитопланктон

Исследования показали, что в июле 2024 г. биомасса и численность фитопланктона в верховье В. Ангара (В.А.1) в ее притоках оставались достаточно низкими (Рис. 10). Минимальные значения наблюдали в р. Котера, где биомасса водорослей не превышала 4.8 мг/м³, а численность 2.8 тыс. кл./дм³. В пробах из этой реки отмечено большое содержание минеральной взвеси, что вероятно является следствием работ по добыче золота на притоках этой реки, возможно высокая мутность является лимитирующим фактором для развития фитопланктона.

По длине р. В. Ангара от верховий к устью происходит увеличение количественных показателей водорослей: минимальные показатели численности и биомассы фитопланктона отмечались в

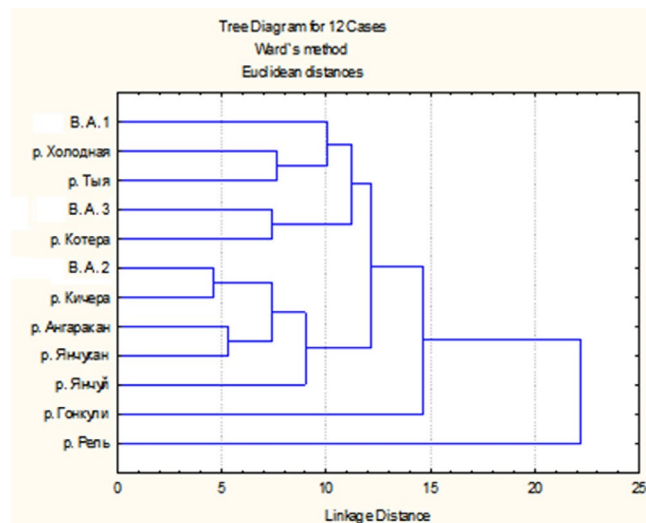


Рис.8. Результаты кластерного анализа распределения рек по микроэлементному составу.

верховье реки (В.А.1) – 12.3 тыс.кл./дм³ и 9.8 мг/м³, соответственно; максимальные значения регистрировали на устьевом участке (В.А.3), где численность фитопланктона превышала 4 млн.кл./дм³, а биомасса 1 г/м³.

В Таблице 3 представлены данные о биомассе и численности фитопланктона в воде притоков, впадающих в северную котловину Байкала. Значения сопоставимы с полученными для таковых в водах В. Ангара (за исключением приустьевых участка) и ее притоков.

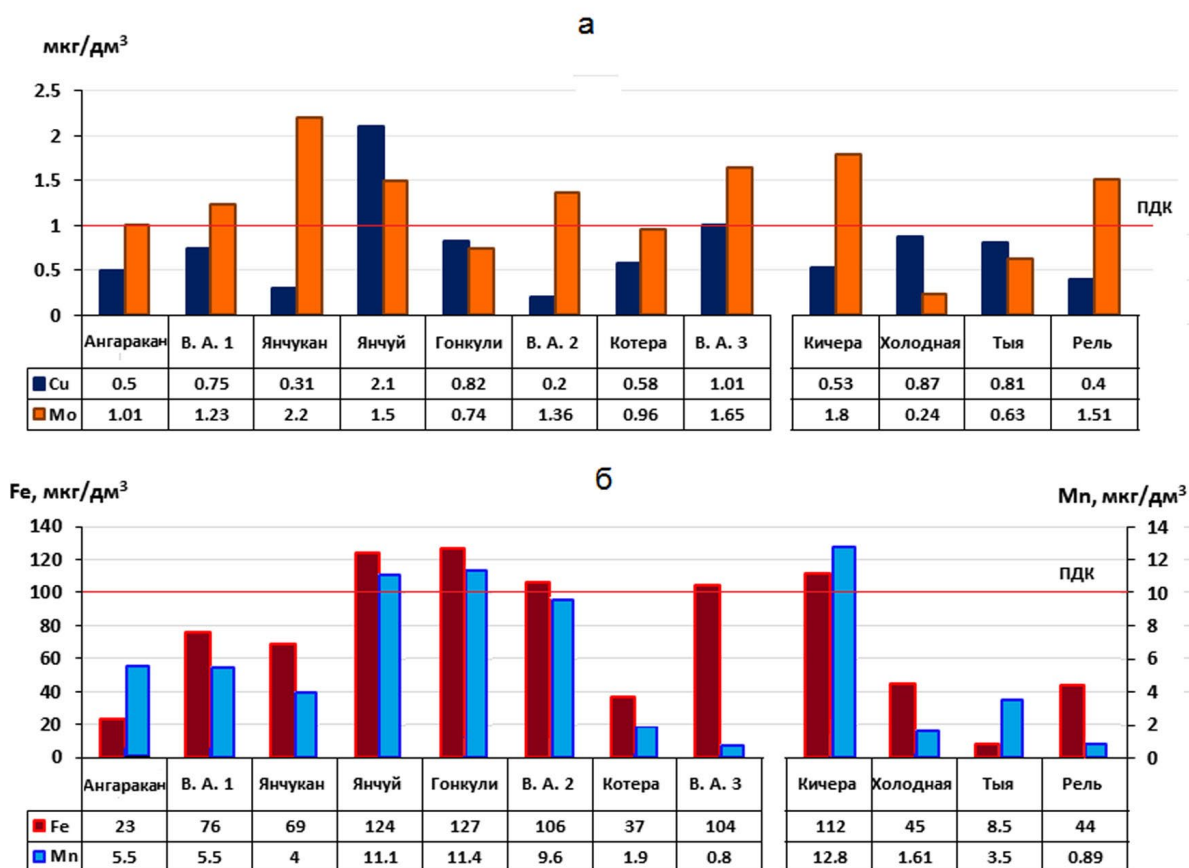


Рис.9. Содержание меди и молибдена (а), железа и марганца (б) в речной воде, июль 2024 г.

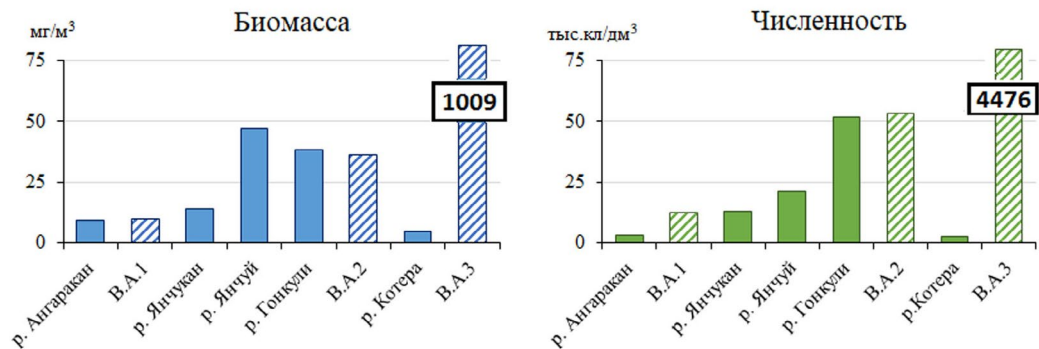


Рис.10. Биомасса (мг/м³) и численность (тыс.кл./дм³) фитопланктона в р. В. Ангара и ее притоках, июль 2024 г.

Видовое разнообразие водорослей на верхнем и среднем участках В. Ангара было заметно ниже (16 и 17 таксонов), чем на устьевом участке (69 таксонов). По числу видов в реке (В.А.1–В.А.2–В.А.3) преобладали зеленые (2–4–25) и диатомовые (8–10–20) водоросли. По биомассе в доминирующий комплекс входили диатомовые (42.5–46.3–63.2%), криптофитовые (3.8–39.0–30.9%) и сине-зеленые (51.0–7.3–1.1%) водоросли. (Рис. 11). В водах В. Ангара из диатомей преобладающими были виды рода *Stephanodiscus*, *Synedra*, *Cyclotella*, *Tabellaria*, *Aulacoseira*, из криптофитовых – *Rhodomonas pusilla*, *Cryptomonas sp.1*, сине-зеленые представлены *Oscillatoria* и *Phormidium*.

В воде притоков Янчулан, Янчуй, Гонкули и Кичера в составе фитопланктона присутствовали динофитовые водоросли (30-70%), представленные *Gyrodinium helveticum*. В Кичере и Тые регистрировали зеленые водоросли – до 25% в общем составе фитопланктона (Рис. 11).

3.4. Микробиология

Исследования групп микроорганизмов в р. В. Ангара и её притоках показали, что численность органотрофных бактерий в большинстве случаев в июле 2024 г. ниже, чем в 2012 г., и в среднем ставила 564 и 645 КОЕ/см³, соответственно (Таблица 4). Значения общего микробного числа (ОМЧ) в 2024 г. были на порядок ниже, чем в 2012 г.

Таблица 3. Биомасса и численность фитопланктона в притоках оз. Байкал, июль 2024 г.

Водотоки	Биомасса, мг/м³	Численность, тыс. кл/дм³
Кичера	44,5	18,8
Холодная	5,9	3,6
Тыя	44,7	39,9
Рель	3,7	1,6

Определение санитарных групп микроорганизмов в воде исследованных рек показало, что в 2012 и 2024 гг. большинство отобранных проб нестандартные. Соответствовали нормативам по всем показателям пробы В.А.3 в 2012 г. и В.А.2 в 2024 г. Одиннадцать из четырнадцати проб имели превышения численности энтерококков, при нормативном значении до 10 КОЕ/100 см³, она колебалась от 15 до 120 КОЕ/100 см³. В 2024 г. в водах всех исследованных водотоков значения *E. coli* не превышали нормы. В 2012 г. численность этого показателя выше 100 КОЕ/100 см³ отмечали в р. Гонкули (243 КОЕ/100 см³). В 2024 г. численность обобщенных колиформных бактерий (ОКБ) превышала норматив (500 КОЕ/100 см³) в водах р. Гонкули – 900 КОЕ/100 см³, р. Котера – 744 КОЕ/100 см³ и на устьевом участке В. Ангара (В.А.3) – 1640 КОЕ/100 см³.

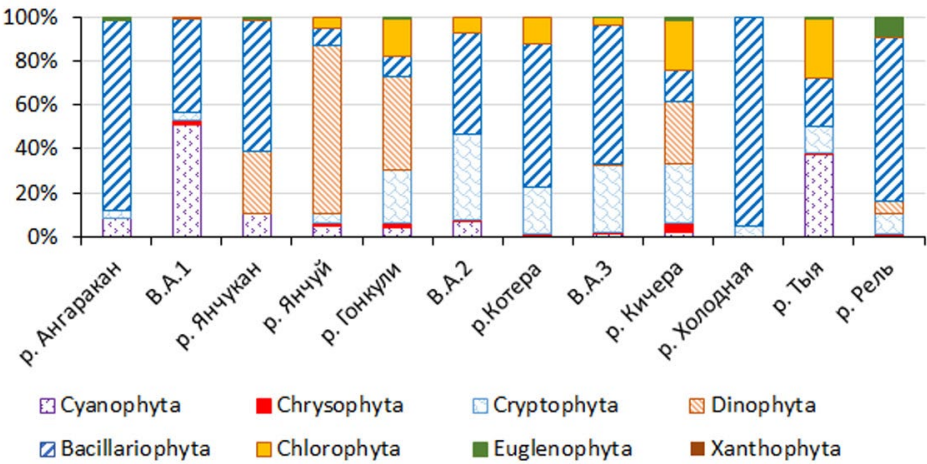


Рис.11. Относительный состав (по биомассе) фитопланктона в водотоках, июль 2024 г.

Таблица 4. Численность микроорганизмов в воде В. Ангара и ее притоков в июле 2012 и 2024 гг.

Водотоки	ОКБ, КОЕ/100 см ³	Органотрофы, КОЕ/см ³		ОМЧ, КОЕ/см ³		E. coli, КОЕ/100 см ³		Энтерококки, КОЕ/100 см ³	
	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.
р. Ангаракан	208	-	260	-	26	-	0	-	15
В.А.1	476	650	365	420	42	28	0	30	16
р. Янчукан	172	-	224	-	26	-	0	-	31
р. Янчуй	416	860	473	600	20	22	0	120	17
р. Гонкули	900	472	682	234	44	243	72	18	43
В.А.2	434	960	260	288	22	18	10	30	9
р. Котера	744	591	395	372	22	15	0	40	9
В.А.3	1640	338	1209	136	40	11	60	0	42
Норматив*	Не более 500					Не более 100		Не более 10	

Примечание: * – СанПиН 1.2.3685-21

Высокую численность микроорганизмов, превышающую допустимые по нормативам СанПиН наблюдали в р. Гонкули в 2012 г. (*E. coli* в 2.4 раза, энтерококки в 1.8 раза) и 2024 г. (ОКБ – 1.8 раза и энтерококки – 4.3 раза), а в нижнем течении р. В. Ангара в 2024 году регистрировали превышение ОКБ в 3.3 раза, энтерококков в 4.2 раза.

Микробиологические исследования рек Кичера, Холодная, Рель и Тья, показали высокую численность органотрофных бактерий в рр. Кичера и Тья, между годами отличия не значительные (Рис. 12). ОМЧ в воде рек в 2024 г. на порядок ниже, чем в 2012 г., за исключением р. Кичера, где численность отличалась не значительно и составила 112 и 182 и КОЕ/см³, соответственно. Отмечены не значительные превышения нормативов по содержанию микроорганизмов санитарно-показательных групп в 2024 г. в водах р. Кичера (энтерококки – 14 КОЕ/100 см³) и р. Тья (ОКБ – 518 КОЕ/100 см³).

4. Выводы

Исследования в июле 2024 г. показали:

- Воды р. В. Ангара и исследованных притоков имеют схожий относительный ионный состав и относятся к гидрокарбонатно-каль-

циевым. Минерализация воды р. В. Ангара в июле возрастала от верховий к устью в 4 раза, в результате впадения более минерализованных притоков. По сравнению с июлем 2012 г. отмечено значительное увеличение содержания основных ионов в воде некоторых притоков (Янчуй, Котера) и в среднем течении В. Ангара. Суммарное содержание ионов здесь возросло в 2 раза.

- По содержанию соединений азота и фосфора качество воды исследованных притоков в основном характеризуется как «предельно чистые» и «чистые». Только воды р. Тья в нижнем течении по содержанию Робщ. относились к классу «умеренной чистоты».
- По сравнению с июлем 2012 г. для большинства исследованных рек отмечено обогащение некоторыми микроэлементами (Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, W, Pb, Th, U). При этом зафиксировано превышение в воде нормативов по меди (р. Янчуй и устьевой участок В. Ангара), молибдену (на всех створах В. Ангара, в рр. Ангаракан, Янчукан, Янчуй, Кичера и Рель), железу (рр. Янчуй, Гонкули, среднее и нижнее течение В. Ангара) и марганцу (рр. Янчуй, Гонкули, Кичера).

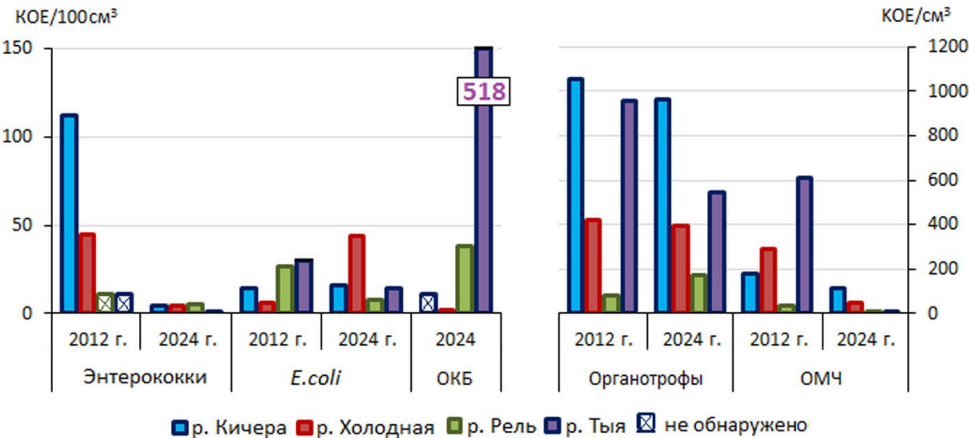


Рис.12. Численность микроорганизмов в воде притоков в июле 2012 и 2024 гг.

- Численность и биомасса фитопланктона в исследованных водотоках не значительны и в основном не превышают значений для олиготрофных водоемов. Исключение – нижний участок р. В. Ангара в районе пос. Верхняя Заимка, где численность и биомасса фитопланктона достигали величин характерных для мезотрофных водоемов.
- Общее микробное число в водах исследуемых притоков снизилось на порядок по сравнению с 2012 г. и составило в среднем 30 КОЕ/см³. Определение санитарных групп микроорганизмов также показало тренд на улучшение качества вод. В 2024 г. отсутствуют превышения норматива численности *E. coli* с минимальными значениями равными нулю. Численность бактерий рода *Enterococcus* имела превышения допустимых значений в ряде рек, однако в основном была ниже, чем в июле 2012 г.

Благодарности

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0279-2021-0005, № 0279-2021-0014 и № 0279-2021-0015.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П. 1999. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды. Аналитическая Химия 54(9): 962–965.

Белых О.И., Бессудова А.Ю., Гладких А.С. и др. 2011. Руководство по определению биомассы видов планктона пелагиали оз. Байкал. Методическое пособие. Иркутск: Издательство ИГУ.

ГОСТ 31942–2012. 2014. Международный стандарт. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М: Стандартинформ.

Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2022 году». 2023. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва, С. 90–91

Кожова О.М., Мельник Н.Г. 1978. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. Иркутск: Издательство ИГУ.

Кошовский Т.С., Санин А.Ю., Пузанова Т.А. и др. 2019. Геохимическое воздействие Холоднинского свинцово-цинкового месторождения на аквальные ландшафты Северного Прибайкалья. Водное хозяйство России 5: 49–62.

МУК 4.2.3963–23. 2023. Бактериологические методы исследования воды. М: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

Оксиук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. Гидробиологический журнал 4: 62–76.

Поповская Г.И. 1991. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958–1990 гг.). Автореферат диссертации доктора биологических наук, Центральный сибирский ботанический сад, Новосибирск, Россия.

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года N 552, с изменениями на 13 июня 2024 года. 2016. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 апреля 2021 г. URL: <http://government.ru/docs/42120/> (дата обращения 01.08.2025).

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. 2009. В: Боева Л.В. (ред.). Р-н-Д: НОК.

СанПиН 1.2.3685-21. 2021. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Северо-Байкальский район Республика Бурятия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Байкальский район](https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Байкальский_район) (дата обращения 01.12.2024).

Томберг И.В., Сороковинова Л.М., Синюкович В.Н. и др. 2024. Формирование химического состава вод Северного Байкала в зоне смешения с водами притоков. Метеорология и гидрология 3: 1–13. DOI: [10.52002/0130-2906-2024-3-98-110](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2024-3-98-110)

Чебыкин Е.П., Сороковинова Л.М., Томберг И.В. и др. 2012. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам. Химия в интересах устойчивого развития 20(5): 613–631.

Aries S., Valladon M., Polvé M. et al. 2000. A Routine Method for Oxide and Hydroxide Interference Corrections in ICP-MS Chemical Analysis of Environmental and Geological Samples. Geostandards Newsletter 24: 19–31. DOI: [10.1111/j.1751-908X.2000.tb00583.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2000.tb00583.x)