

УДК 556.5; 556.1

ВНУТРИГОДОВАЯ ДИНАМИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ В 2020 ГОДУ

А.В. Котовщikov, А.В. Дьяченко, Л.А. Долматова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: kotovschik@iwer.ru

По результатам полевых экспедиционных исследований впервые получены данные сезонных наблюдений за физико-химическими показателями Верхней Оби и ее основных притоков. Ежемесячные измерения температуры, электропроводности, pH, окислительно-восстановительного потенциала, содержания кислорода, мутности и численности цианопрокариот проводили многопараметрическим зондом качества воды YSI 6600V2. Выявлена подробная внутригодовая динамика этих показателей на трех створах Верхней Оби (Фоминское, г. Камень-на-Оби, г. Новосибирск), а также в притоках: Ануй, Чарыш, Алей, Барнаулка, Лосиха, Чумыш.

Ключевые слова: экологический мониторинг, сезонные изменения, гидрохимический режим, показатели качества воды, притоки.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15806

Дата поступления 5.09.2020

Особенности уровня, термического, ледового, руслового, гидрохимического и гидробиологического режимов обуславливают сезонные закономерности гидрологических процессов в реках. При этом ключевое значение имеет водный режим, определяющий ритмику поступления воды с поверхности водосборного бассейна [1]. Изучение сезонных изменений состава речных вод является важной фундаментальной и прикладной задачей экологического мониторинга. Выявление характера формирования и динамики состава вод в верховье крупной равнинной реки важно для выявления региональных особенностей функционирования речных экосистем. Установление внутригодовых колебаний комплекса физико-химических параметров и их трансформации на конкретном протяженном участке р. Обь, включая зарегулированный участок, а также динамики в основных притоках позволяют дать интегральную оценку экологического состояния и качества воды рек бассейна Оби.

Ограниченность натурных наблюдений за гидрохимическим составом речных вод в нашей стране является

следствием крайней редкости сети наблюдательных станций и малого набора показателей. В связи с этим актуальной является задача регулярных наблюдений за комплексом показателей качества воды Верхней Оби и ее основных притоков, особенно в свете усиливающихся природно-климатических изменений последних лет.

Участок верхнего течения р. Обь (Верхняя Обь) начинается от места слияния рек Бия и Катунь, имеет длину 964 км и заканчивается перед впадением р. Томь. На протяжении половины длины Верхней Оби (около 500 км), т.е. до выклинивания подпора водохранилища Новосибирской ГЭС, происходит формирование экосистемы Оби как равнинной реки. Принимая в истоке воды двух крупных горных рек, далее в ней происходит трансформация состава и качества вод, развитие планктона. Таким преобразованиям способствует уменьшение уклона, расширение поймы. Кроме того, именно на этом участке реки впадают практически все основные притоки верхнего течения Оби: Песчаная, Ануй, Чарыш, Большая Речка, Алей, Барнаулка, Лосиха, Касмала, Чу-

мыш. Этим объясняется значительное возрастание среднегодовых расходов воды: с 1170 м³/с (с. Фоминское) до 1550 м³/с (г. Камень-на-Оби) [2]. По мере приближения к створу г. Новосибирска происходит дальнейшая трансформация состава вод, а также изменение гидрологического режима реки за счет влияния Новосибирского водохранилища. В створе р. Обь ниже плотины снижаются расходы весеннего половодья, увеличивается зимний меженный сток. В весенний период вода прогревается в более поздние сроки, а также снижается доля твердого стока [3]. Из-за отсутствия крупных притоков, среднегодовой расход воды в створе г. Новосибирска увеличивается по сравнению с предыдущим створом всего до 1590 м³/с [4]. Целью работы стало выявление сезонной динамики физико-химических показателей воды на разных участках Верхней Оби и в разнотипных притоках.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили оригинальные результаты полевых натурных измерений, выполненных посредством гидрологического многопараметрического зонда качества воды YSI 6600V2. Измерение физико-химических характеристик воды проводилось *in situ* непосредственно в толще воды, в заданной точке и на требуемой глубине. Данная модель зонда включена в Государственный реестр средств измерений (ГРСИ РФ) под № 62290-15.

Физико-химические показатели воды рек измеряли ежемесячно с марта по ноябрь 2020 г. в слое 0,2-0,5 м от поверхности воды. Пункты наблюдения располагались на трех створах р. Обь: с. Фоминское (9-й км от истока); г. Камень-на-Оби (497-й км); г. Новосибирск (693-й км), а также на шести притоках: Ануй, Чарыш, Алей, Барнаулка, Лосиха, Чумыш (рис. 1). Основные характеристики использованных датчиков были следующие.

Температура. Тип сенсора – металлокерамический термистор из оксида металла. Диапазон измерений: от –5 до +50 °С; точность ±0,15 °С; разрешение – 0,01 °С.

Удельная электропроводность. Тип сенсора – ячейка с четырьмя электродами из чистого никеля. Для компенсации влияния температуры рассчитывалась электропроводность, приведенная к мС/см; точность – ±0,5 %; разрешение – от 0,001 мС/см до 0,1 мС/см в зависимости от величины электропроводности.

Водородный показатель (pH). Тип сенсора – комбинация электрода из протон-селективного стеклянного резервуара с нейтральным буфером и электрода сравнения AgCl. Измеренные значения компенсировались по температуре. Диапазон измерений – от 0 до 14 единиц; точность ±0,2; разрешение – 0,01.

ОВП (окислительно-восстановительный потенциал). Принцип сенсора – измерение разницы потенциалов между химически инертным электродом (платиновый диск на конце датчика) и электродом сравнения AgCl. Значения ОВП определялись в милливольтках и не компенсировались по температуре. Диапазон измерений: от –999 до +999 мВ; точность ±20 мВ; разрешение – 0,1 мВ.

Содержание растворенного кислорода. Тип сенсора – оптический. Принцип работы основан на зависимости времени затухания люминесценции от содержания растворенного кислорода. Непосредственно измеряемым параметром датчика являлось парциальное давление (процент насыщения) кислорода в воде. Этот параметр компенсировался по данным температурного датчика. Диапазон измерений: от 0 до 500 % насыщения; точность ±1 %; разрешение – 0,1 %.

Датчик мутности. Тип сенсора – оптический, регистрирующий обратнорассеянное излучение от взвешенных частиц в воде посредством свето- и фотодиодов. Показания датчика приводятся в нефелометрических единицах мут-

ности (NTU). Диапазон измерений – от 0 до 1000 NTU; точность – 0,3 NTU; разрешение – 0,1 NTU.

Датчик цианопрокариот (сине-зеленые водоросли). Тип сенсора – оптический, регистрирующий флуоресценцию фикоцианина (фикобилиновый

пигмент клеток планктонных цианопрокариот) посредством свето- и фотодиодов. Диапазон – от 0 до 280000 клеток/см³; предел обнаружения – примерно 220 клеток/см³. Вычисляли по культуре *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.

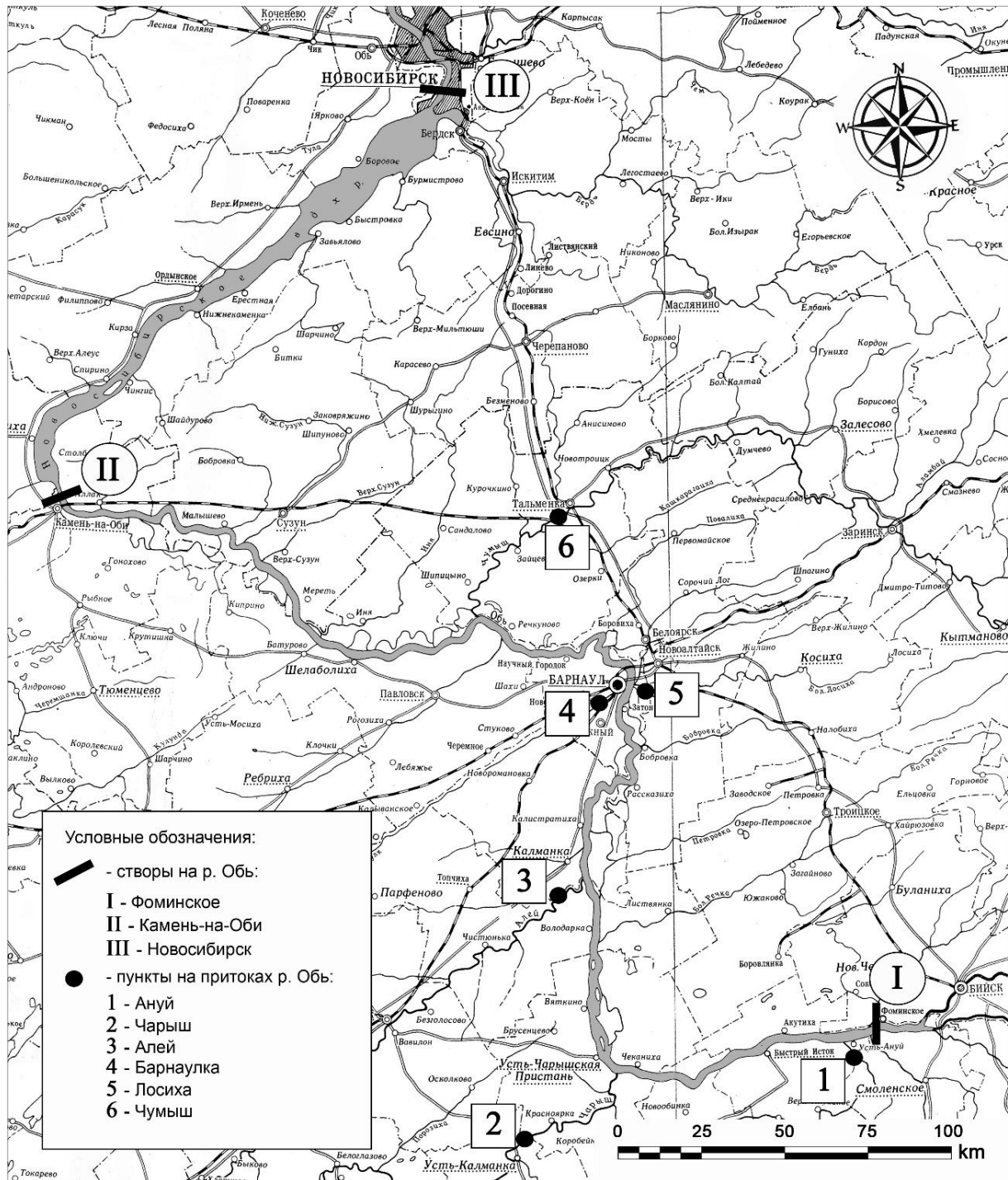


Рис. 1. Карта участка Верхней Оби с расположением пунктов отбора проб, 2020 г.

Результаты и обсуждение

Сезонный ход температуры воды в исследованных реках является закономерным следствием условий умеренного климата территории, при которых существуют устойчивые периоды времени с характерными тенденциями нагревания или охлаждения водных объектов. В истоке Оби (створ I) вода не нагревалась выше 18 °С, а в створах выше и ниже водохранилища, температура достигала в июле 22,5 °С (рис. 2а). Весеннее нагревание в апреле-мае в створе II проходило в более ранние сроки, чем в двух других створах. Среди исследованных притоков, наибольший летний прогрев (23-25 °С) наблюдали в реках Ануй, Чарыш, Алей и Чумыш (рис. 2б). Наиболее «холодной» можно назвать р. Лосиха, вода в которой не нагревалась выше 20 °С.

Электропроводность напрямую связана с общей минерализацией воды и зависит, главным образом, от содержания ионов кальция, магния, натрия, калия, хлоридов, карбонатов, гидрокарбонатов и сульфатов. В створах р. Оби электропроводность изменялась от 83 до 195 мкС/см (рис. 3а). Сезонная динамика в створах II и III была сходной: максимум наблюдалась в марте подо льдом, далее в течение весны-лета показатель колебался около 160-180 мкС/см, снижаясь в течение осени, особенно в створе III. В истоке р. Оби величины электропроводности большую часть года были значительно меньше. Среди исследованных притоков наименьшей электропроводностью характеризовался Чарыш, наибольшей – Алей и Барнаулка (рис. 3б).

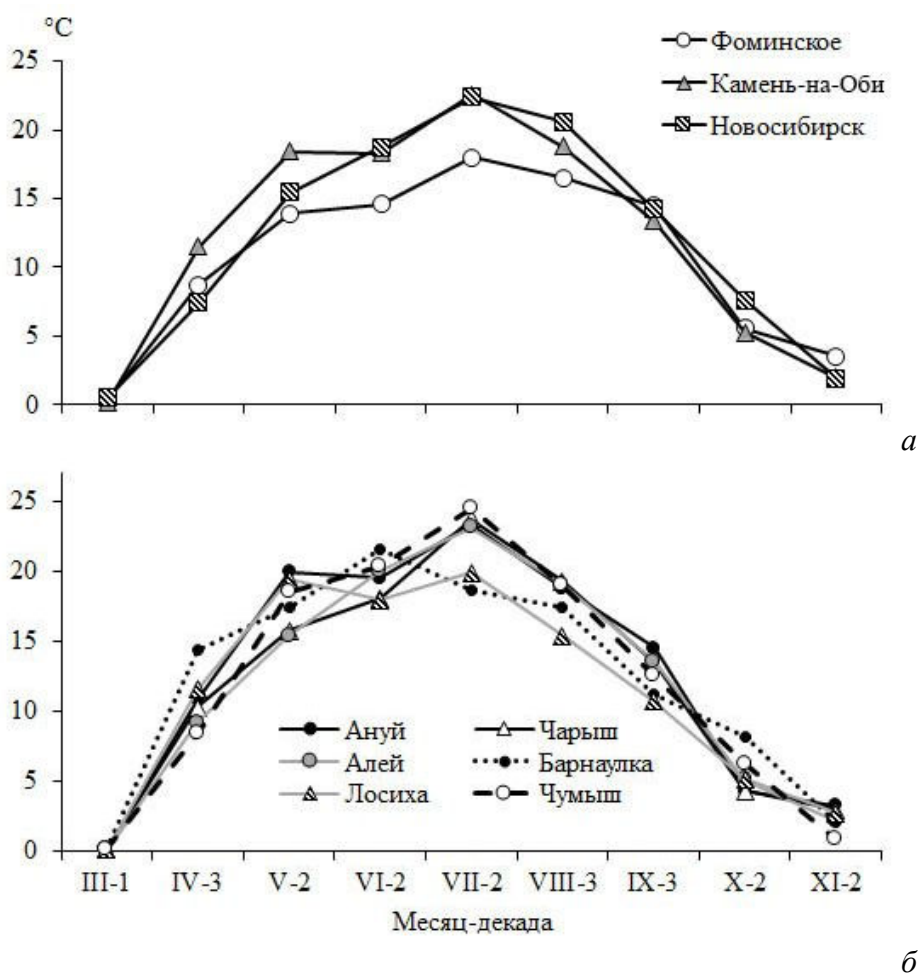


Рис. 2. Температура воды в Верхней Оби (а) и ее притоках (б) в 2020 г.

Величина pH является мерой содержания в воде ионов водорода, которое в основном зависит от состояния равновесия между элементами карбонатно-кальциевой системы. Изменение биохимических и физических параметров окружающей среды приводят к выводу карбонатной системы из состояния равновесия, изменению концентрации водорода и величины pH . Максимальные значения pH (до 8,3-8,4) в р. Обь (рис. 4а) наблюдали в створах II и III в июле-сентябре, т.е. в период наибольшего развития фитопланктона, за счет фотосинтеза которого уменьшается содержание в воде угольной кислоты, двуокиси углерода и ионов водорода. В этот же период в створе I значения pH не превышали 7,9 из-за более слабого

развития фитопланктона. В притоках наблюдали схожую картину: значения pH постепенно нарастали с марта до июня-июля, немного снижаясь к ноябрю (рис. 4б).

Окислительно-восстановительный (редокс-) потенциал (ОВП) природной воды определяется совокупностью окислительных и восстановительных процессов. Он позволяет выявить природные среды, в которых возможно существование химических элементов с переменной валентностью. Вода в р. Обь большую часть года характеризуется окислительным типом: значения ОВП от +100 до +150 мВ (рис. 5а). Снижение (до 75 мВ) происходит в августе-сентябре в створах II и III и в сентябре в створе I.

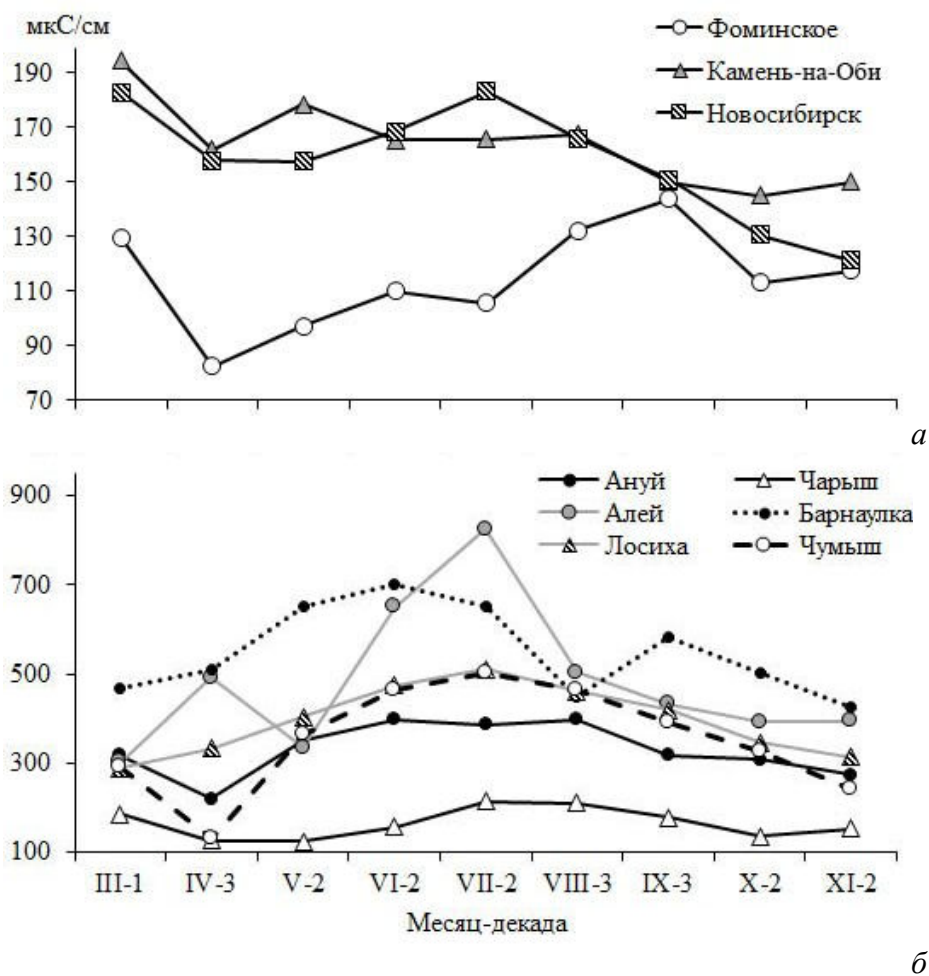


Рис. 3. Электропроводность воды в Верхней Оби (а) и ее притоках (б), 2020 г.

Такие параметры характерны для переходного окислительно-восстановительного типа среды с неустойчивым геохимическим режимом и переменным содержанием сероводорода и кислорода. Значения ОВП в изученных притоках в целом были близки к обским (рис. 5б). Выделяется минимальный показатель (38 мВ), отмеченный в р. Барнаулке в сентябре.

Степень насыщения кислородом – это относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания. Дефицит кислорода наблюдается в водных объектах с высокими концентрациями загрязняющих органических веществ и в эвтрофированных водоемах, содержащих большое количество биогенных и гумусовых веществ. Вода р. Обь весь период открытой воды характеризовалась удо-

влетворительным кислородным режимом – 80-110 % (рис. 6а). Снижение (69 %) до уровня умеренно загрязненных вод отмечено в марте в створе II. Среди изученных притоков выделялся р. Чумыш, в которой подо льдом содержание кислорода снижалось до 51 % (рис. 6б) что соответствовало загрязненным водам.

Мутность воды определялась количеством тонкодисперсных примесей, нерастворимых или коллоидных неорганических и органических веществ различного происхождения. В р. Обь, как и в большинстве исследованных притоков, максимальная мутность воды наблюдалась в апреле в период весеннего половодья (рис. 7). При этом вод в створах I и III она в два раза ниже, чем в створе II.

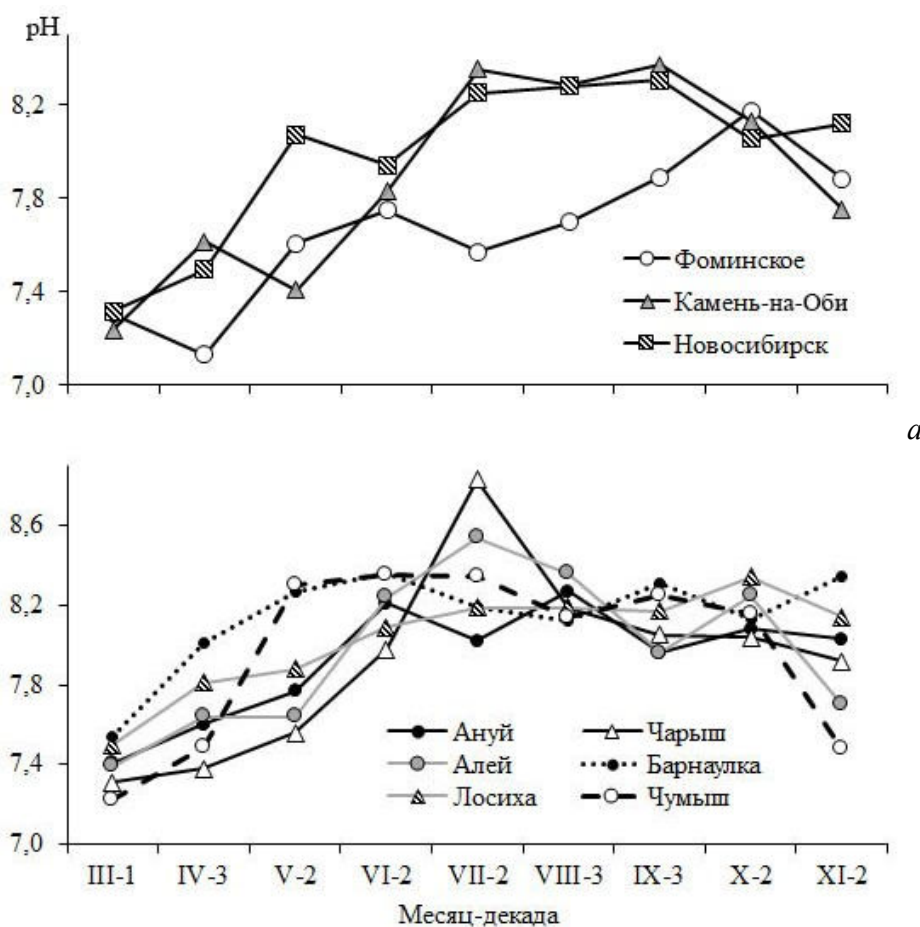


Рис. 4. Водородный показатель в воде Верхней Оби (а) и ее притоках (б), 2020 г.

Пики мутности в течение года были обусловлены дождевыми паводками (июль, створ I) или позднеосенним гиперразвитием фитопланктона в водохранилище (ноябрь, створ III). Среди притоков выделяется река Алей, воды которой имели в апреле-мае наибольшую мутность (150-225 NTU). В р. Барнаулка в августе обильные дожди вызвали увеличение показателя до 139 NTU. В меженные периоды значения мутности в р. Обь, как правило, находились в пределах 7-25 NTU; в притоках – 5-50 NTU.

Чрезмерное развитие цианопрокариот (сине-зеленых водорослей) в планктоне водных объектов является признаком процессов эвтрофикации. Способность усваивать различные формы азота определяет появление циано-

прокариот в начальный период эвтрофирования, когда при обогащении фосфором, особенно в летний период, в водоемах отмечается дефицит нитратного азота [5]. Численность клеток цианопрокариот, измеренная по флуоресценции фикоцианина, в р. Обь была низкой и, как правило, не превышала 2,5 тыс.кл./см³ (рис. 8а). Незначительное увеличение показателя в Оби до 4,3 тыс.кл./см³ отмечали однократно в июле в створе III, что вероятно, было вызвано летней вегетацией цианопрокариот в водохранилище, которая приурочена к периоду наибольшего прогрева воды. Низкая численность (до 3,6 тыс.кл./см³) наблюдалась и в большинстве исследованных притоков (рис. 8б).

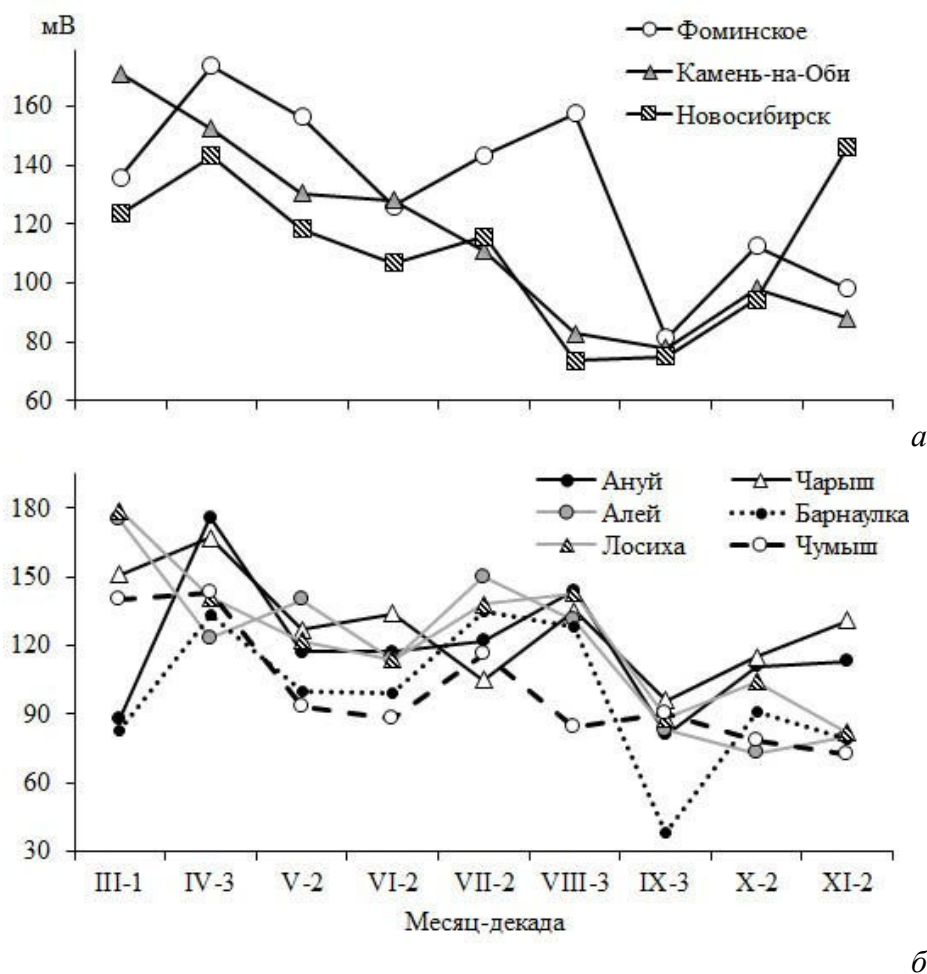


Рис. 5. Окислительно-восстановительный потенциал в воде Верхней Оби (а) и ее притоках (б), 2020 г.

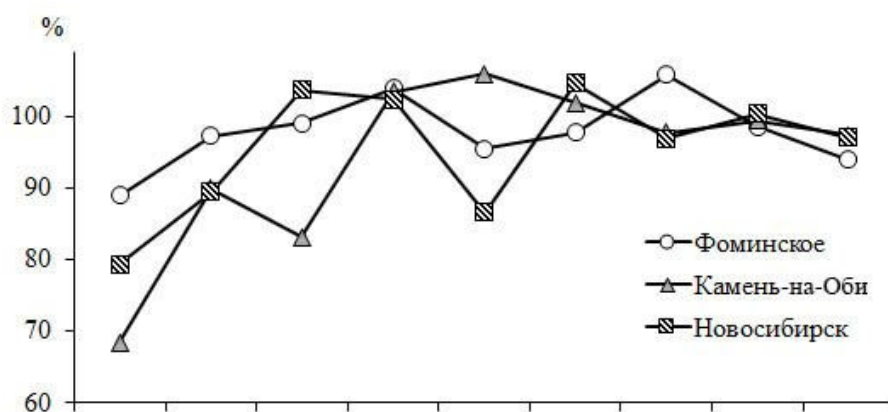
Повышенное развитие цианопрокариот выявлено в р. Барнаулка с максимумами в июне и сентябре (19 и 12 тыс.кл./см³, соответственно). В р. Чумыш также отмечали заметное (до 9 тыс.кл./см³) увеличение численности в июне-июле. В целом, максимальные значения численности цианопрокариот в исследованных реках в тысячу раз ниже, что отмечено обычно в озерах во время летней вегетации [5].

Заключение

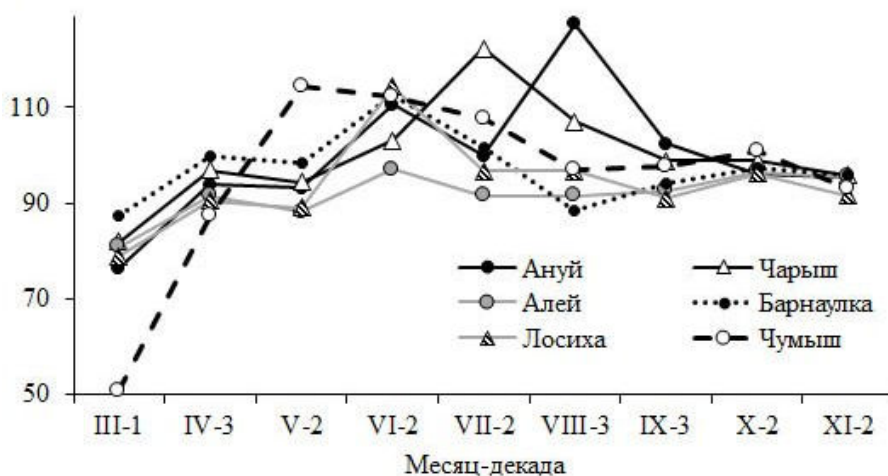
Изученные физико-химические показатели р. Обь и ее притоков показали определенную сезонную изменчивость, которая имела свои особенности на разных створах и в разных реках. Внутригодовой ход температуры воды в период с марта по ноябрь 2020 г. характеризо-

вался обычной кривой, наблюдаемой в водоемах умеренной зоны с максимумом в июле. Воды р. Обь в створах II и III прогревались до 22,5 °С, в створе I – до 18,0 °С. В притоках наибольшую температуру воды (24,5 °С) отмечали в р. Чумыш.

Электропроводность в р. Обь варьировала от 83 мкС/см (в половодье) до 195 мкС/см (в зимнюю межень). Среднегодовое значение значительно возрастает от I к II створу с 115 до 164 мкС/см, снижаясь к створу III до 158 мкС/см. Воды притоков имели более высокую электропроводность, чем Обь. Максимальные среднегодовые значения выявлены в реках Барнаулка (548 мкС/см) и Алей (481 мкС/см), минимальное – в р. Чарыш (164 мкС/см).



а



б

Рис. 6. Степень насыщения воды кислородом в Верхней Оби (а) и притоках (б), 2020 г.

Среднегодовые значения рН в створах р. Обь увеличивались вниз по течению от 7,7 до 8,0. Максимальные в году величины для р. Обь наблюдали в период наибольшего развития фитопланктона в двух нижних створах. Водородный показатель в притоках варьировал от 7,2 до 8,8. При этом наименьшие значения, также как в р. Обь, характерны для зимней межени, а наибольшие – для периода максимального прогрева воды.

Окислительно-восстановительный потенциал обских вод и притоков в сезонном аспекте в целом постепенно снижается к периоду летне-осенней межени до 70-80 мВ. В створах р. Обь среднегодовые значения показателя заметно снижались вниз по течению: от 132 мВ (створ I) до 115 мВ (створ II) и до 111 (створ III). Среди притоков наиболее неустойчивый геохимический

режим отмечали в р. Барнаулке и в р. Чумыш (среднегодовые значения ОВП: 98 и 100 мВ, соответственно).

Степень насыщения воды кислородом в р. Обь и ее притоках в течение всего года была высокой (в среднем 90-100 %). Минимальное насыщение наблюдали в подледный период, которое в основном не превышало 70-80 %, а в р. Чумыш составило 51 %.

Мутность воды в р. Обь в среднем за год была максимальной в створе II (31 NTU), а в створах I и III она была в пределах 18-19 NTU. Среди исследованных притоков наибольшая среднегодовая мутность характерна для р. Алей (63 NTU), наименьшая – для р. Лосиха (9 NTU). Пики мутности в течение года (до 100-200 NTU) отмечалась в периоды весеннего половодья и летних дождевых паводков.

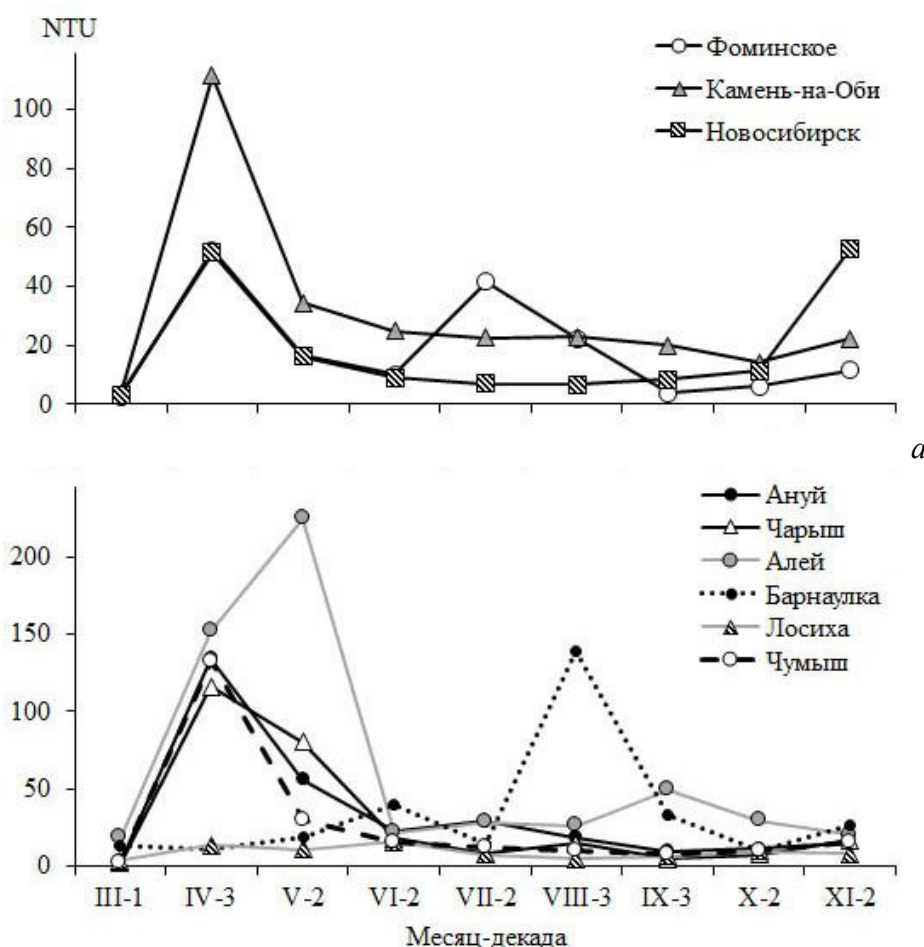
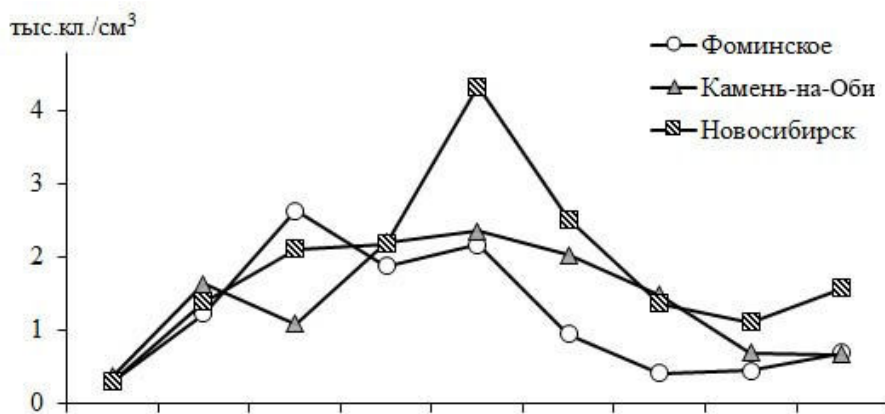
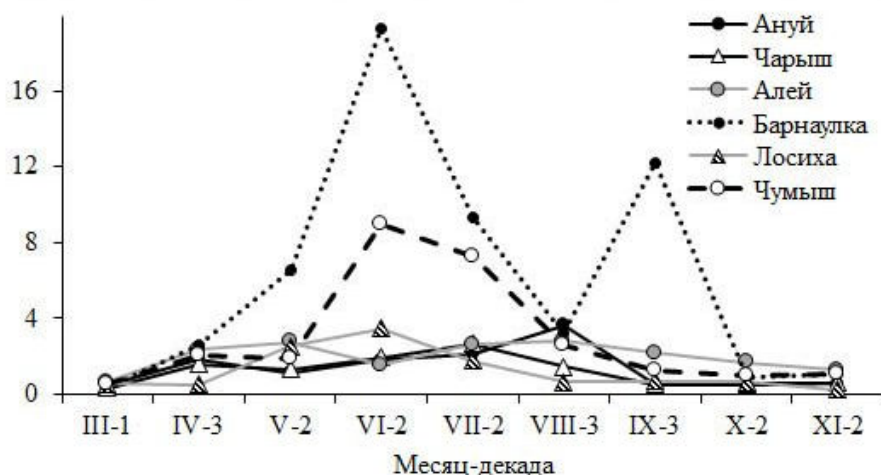


Рис. 7. Мутность воды в Верхней Оби (а) и ее притоках (б), 2020 г.



а



б

Рис. 8. Численность цианопрокариот (по измерениям флуоресценции) в планктоне Верхней Оби (а) и ее притоках (б), 2020 г.

Численность цианопрокариот в исследованных реках, рассчитанная по измерениям флуоресценции, в целом была низкой. Максимальные значения, как правило, не превышали 4 тыс.кл./см³. Исключение составили

притоки р. Барнаул и р. Чумыш, где отмечены летние максимумы численности: 19 и 9 тыс.кл./см³, соответственно. Это может свидетельствовать о развитии процессов эвтрофикации в этих реках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00528.

Список литературы

1. Закономерности гидрологических процессов. – М.: ГЕОС, 2012. – 736 с.
2. Вода России. Водно-ресурсный потенциал. – Екатеринбург: Аква-Пресс, 2000. – 420 с.
3. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / Савкин В.М. и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.
4. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 152 с.
5. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.

References

1. Zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov. – M.: GEOS, 2012. – 736 s.
2. Voda Rossii. Vodno-resursnyy potentsial. – Yekaterinburg: Akva-Press, 2000. – 420 s.
3. Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha / Savkin V.M. i dr. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. – 393 s.
4. Savkin V.M. Ekologo-geograficheskiye izmeneniya v basseynakh rek Zapadnoy Sibiri. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. – 152 s.
5. Trifonova I.S. Ekologiya i suktsessiya ozernogo fitoplanktona. – L.: Nauka, 1990. – 184 s.

ANNUAL DYNAMICS OF PHYSICO-CHEMICAL WATER PARAMETERS
IN RIVERS OF THE UPPER OB BASIN IN 2020

A.V. Kotovshchikov, A.V. Dyachenko, L.A. Dolmatova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, E-mail: kotovschik@iwep.ru

Seasonal observation data on physico-chemical parameters of the Upper Ob and its main tributaries were obtained for the first time based on the results of field studies. Monthly measurements of temperature, conductivity, pH, redox potential, oxygen content, turbidity and cyanoprokaryota abundance were carried out using the YSI 6600V2 multiparameter water quality probe. We identified annual dynamics of these indicators in detail on the three stations (Fominskoye, Kamen-na-Obi, Novosibirsk) of the Upper Ob and in its tributaries: Anuy, Charysh, Alei, Barnaulka, Losikha and Chumysh rivers.

Key words: environmental monitoring, seasonal changes, hydrochemical regime, water quality indicators, tributaries.

Received September 5, 2020