

УДК 556.5

ТЕПЛОВОЙ СТОК ВЕРХНЕЙ ОБИ В 2020 Г.

А.В. Котовщиков, А.В. Дьяченко

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: kotovschik@iwer.ru, dychenko@iwer.ru

По результатам полевых экспедиционных исследований получены данные регулярных сезонных наблюдений за температурой и расходами воды на четырех створах Верхней Оби: с. Фоминское, г. Барнаул, г. Камень-на-Оби, г. Новосибирск. Выявлена внутригодовая динамика суточного теплового стока и проанализированы ее отличия на разных створах. Рассчитаны годовые значения теплового стока, среднегодовые значения температуры воды и суточного водного стока для каждого створа. Выявлен характер продольных изменений температуры воды, теплового и водного стока.

Ключевые слова: термический режим рек; водный сток; сезонные изменения; гидрологический режим; геосток.

DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16204

Дата поступления: 10.09.2021

Суммарный речной сток (геосток) в представлении С.Д. Муравейского [1960] – это глобальный биогеохимический процесс, который играет ведущую роль в формировании состава, структуры и биологической продуктивности водных экосистем. Геосток складывается из стока воды, взвешенных наносов, химических веществ, живых организмов и тепла.

Термический режим рек умеренной зоны является закономерным следствием условий климата территории, при которых существуют устойчивые периоды времени с характерными тенденциями нагревания или охлаждения водных

объектов. Тепловой сток рек является важным компонентом геостока, а также фактором гидроэкологического состояния крупных рек, который определяет уровень и динамику развития водной биоты. Роль этого фактора и его внутригодовая изменчивость зависят от размера и географического положения речного бассейна, и обусловлены совокупностью природных и антропогенных факторов формирования водного и термического режима реки [Магрицкий, 2009]. Знание процессов формирования и трансформации стока тепловой энергии в крупной равнинной реке важно для выявления глобальных закономер-

ностей и региональных особенностей функционирования речных экосистем. Кроме того, существенные климатические изменения требуют современного анализа реакции термического режима рек на эти процессы [Закономерности..., 2012].

Целью работы является изучение сезонной динамики и выявление годовых объемов теплового стока на разных створах 700-километрового участка реки Обь, что позволит количественно описать происходящие по длине реки изменения термического режима.

Материал и методика исследований

Полевые исследования проводили в 2020 г. ежемесячно (март–декабрь) на 4-х створах р. Оби: Фоминское (9-й км); Барнаул (233-й км); Камень-на-Оби (495-й км); Новосибирск (693-й км). Используются данные натурных наблюдений за температурой и расходом воды р. Оби. Температуру воды измеряли один раз в месяц (в створе у г. Барнаула – 2 раза в месяц) в характерные гидрологические периоды на 2–4 станциях створа в слое 0,3–0,5 м от поверхности посредством многопараметрического зонда YSI 6600V2. Диапазон измерений зонда – от –5 до +50°C; точность – ±0,15°C; разрешение – 0,01°C. В период отсутствия наблюдений (январь–февраль) температура воды

на створах принималась равной температуре воды в другие месяцы подледного периода (декабрь, март). Общий объем выполненных полевых измерений температуры воды составляет 145. В расчетах использовали средние для каждого створа значения температуры. Для расчета теплового стока использовали ежедневные значения температуры воды, которые восстанавливали методом линейной интерполяции между датами наблюдений. Для измерения расходов воды был использован аппаратно-программный комплекс Sontek RiverSurveyor Live, который включает в себя акустический доплеровский измеритель скорости течения Sontek ADP M9, а также программное обеспечение. Кроме того, были использованы открытые данные Росгидромет о ежедневных расходах воды на гидропостах [Гидрографы гидропостов: [сайт]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/>].

Суточные величины теплового стока W_θ рассчитывали по формуле:

$$W_\theta = c_p \rho \theta W,$$

где c_p – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°C), ρ – плотность воды, (кг/м³), θ – ежедневная температура воды (°C), W – объем стока воды (м³) за сутки.

Диапазон изменений c_p и ρ для речных вод очень небольшой и практически не влияет на результаты расчетов.

Колебания W_θ связаны с изменчивостью θ и W . Для расчета использованы данные о температуре воды в верхнем 0,5-метровом слое. Полученные значения в безледный период адекватно отражают среднюю температуру по вертикали, что связано с большой турбулентностью потока и активным перемешиванием речных вод. Период ледостава практически не влияет на годовой сток теплоты. Тепловой сток за год считывали, как сумму суточных величин W_θ .

Результаты и их обсуждение

Сезонная динамика суточного теплового и водного стоков, а также температуры воды представлена на рис. 1. В истоке р. Обь (с. Фоминское) внутригодовой ход теплового стока не имел выраженного максимума и характеризовался многими мелкими пиками одинаковой величины (14–16 кДж·10¹²), возникающими на протяжении четырех месяцев (май–август). Эти пики полностью соответствовали пикам водного стока, но в весенний период из-за низкой температуры воды (10–12°C) пик водного стока в начале мая не повлиял на увеличение теплового стока. Период наибольших температур в июле–августе также не вызвал увеличение стока тепла. Ниже по течению, в створе г. Барна-

ула, характер сезонной динамики теплового стока отличался. Наблюдали выраженный максимум (22 кДж·10¹²) в первой половине мая, чему способствовали как прогрев воды (более 15°C), так и пик водного стока. Следующий наиболее заметный максимум отмечали в середине июля в период наибольшего прогрева воды во время кратковременного паводкового подъема водного стока.

В створе г. Камня-на-Оби сезонный ход теплового стока был в целом похож на таковой в створе г. Барнаула. Отличие заключалось в том, что майский максимум, синхронный с максимумом водного стока, отмечен в более поздние сроки. К середине мая вода прогрелась здесь до 18°C, поэтому величина годового максимума была заметно выше (29 кДж·10¹²), чем в створе г. Барнаула, чему способствовал и более высокий водный сток.

В зарегулированном створе г. Новосибирска годовой максимум теплового стока не был выражен. Наблюдали два пика одинаковой величины в конце мая и в конце июля (20–21 кДж·10¹²). Наибольший водный сток в этом створе наблюдали намного раньше – в середине апреля во время подготовительных сбросов перед началом половодья.

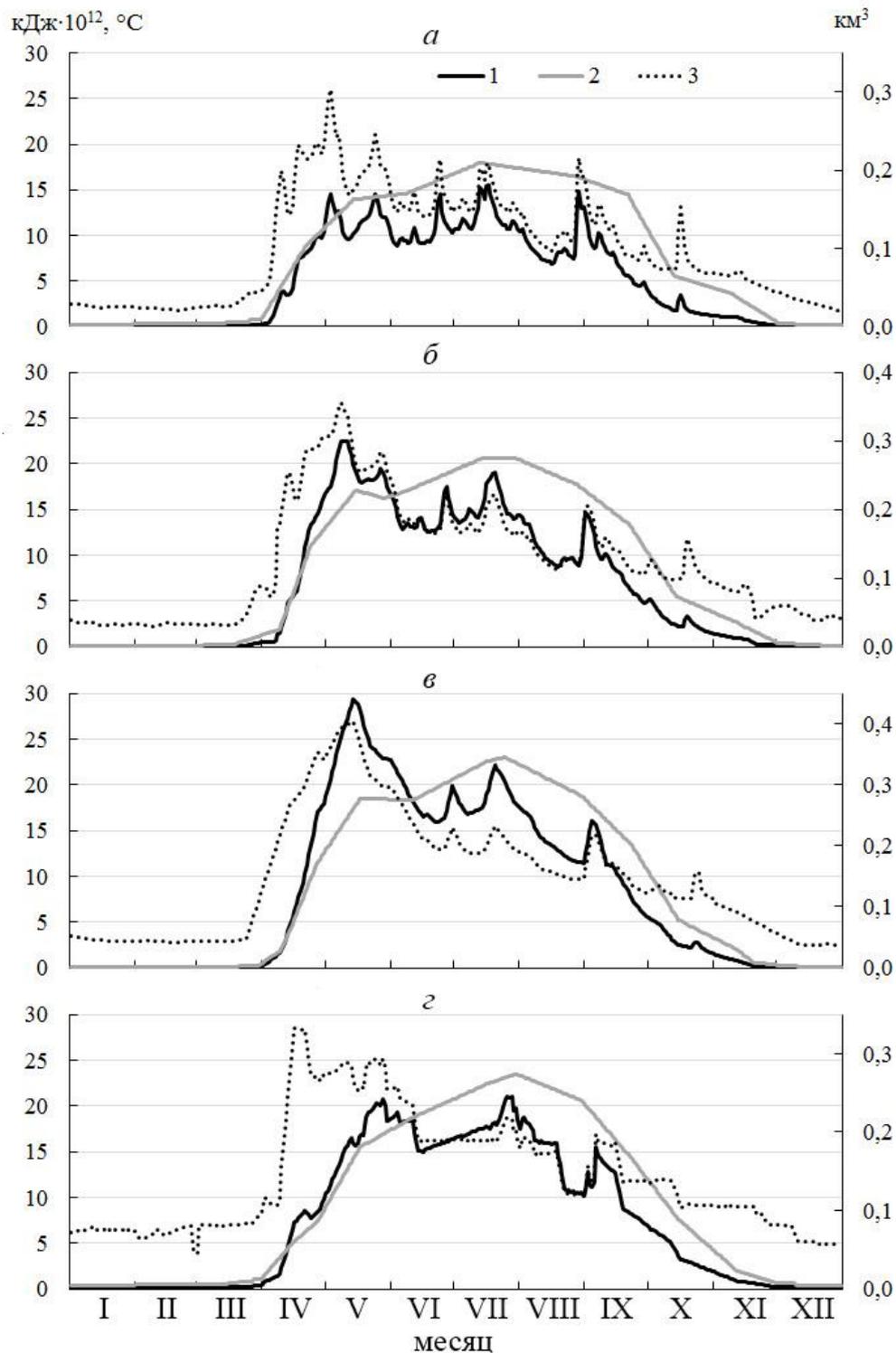


Рис. 1. Внутригодовая динамика суточного теплового стока (1, левая ось), температуры воды (2, левая ось) и суточного водного стока (3, правая ось) в Верхней Оби в 2020 г.

(*a* – Фоминское, *б* – Барнаул, *в* – Камень-на-Оби, *г* – Новосибирск)

Fig. 1. Intra-annual dynamics of daily heat flow (1, left axis), water temperature (2, left axis), and daily water runoff (3, right axis) in the Upper Ob in 2020 (*a* - Fominskoye, *b* - Barnaul, *c* - Kamen- on-Obi, *g* - Novosibirsk)

В этот период температуры воды были еще очень низкими ($5-7^{\circ}\text{C}$), поэтому большой водный сток никак не повлиял на величину теплового стока. После прогрева воды выше 15°C (вторая половина мая), дальнейшая динамика теплового стока, как и во всех выше-расположенных створах, определялась колебаниями стока воды. В осенний период (октябрь–ноябрь) происходило довольно быстрое падение теплового стока во всех створах, которое было полностью подчинено снижению температуры воды.

Годовые величины теплового стока, среднегодовые значения температуры воды и суточного водного стока представлены на рис. 2. От истока р. Обь до створа, расположенного перед выкли-

ниванием подпора Новосибирского водохранилища (г. Камень-на-Оби), годовые значения теплового стока увеличивались от 1793 до $2398 \text{ кДж}\cdot 10^{12}/\text{год}$. В створе ниже водохранилища (г. Новосибирск), из-за отсутствия выраженного майского пика, тепловой сток снижался до $2671 \text{ кДж}\cdot 10^{12}/\text{год}$. При этом, среднегодовая температура воды была в этом створе максимальна ($9,2^{\circ}\text{C}$). Среднегодовой суточный сток воды увеличивался от истока к створу г. Камня-на-Оби от $0,10$ до $0,15 \text{ км}^3/\text{сут.}$, а в створе г. Новосибирска снижался до $0,14 \text{ км}^3/\text{сут.}$ Это связано с аккумулярующей ролью водохранилища, которое в среднем удерживает 13% притока [Многолетняя ... , 2014].

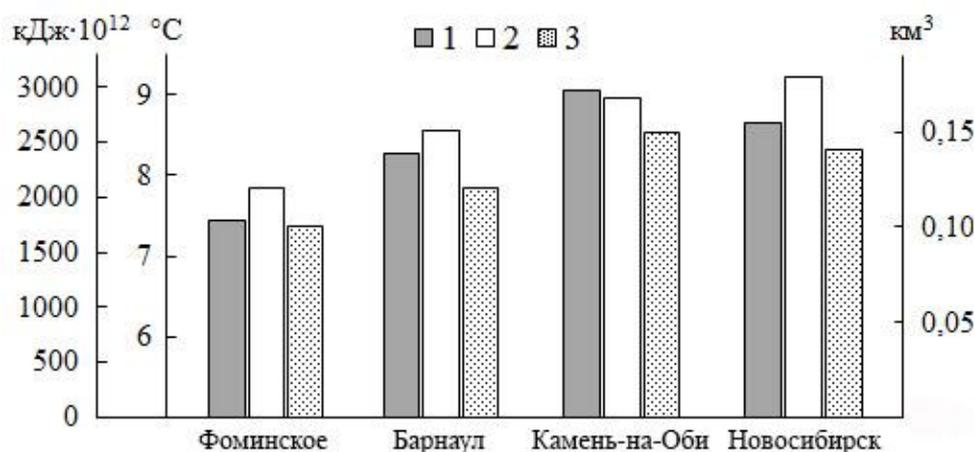


Рис. 2. Годовой тепловой сток (1, первая левая ось), среднегодовая температура воды (2, вторая левая ось) и среднегодовой суточный водный сток (3, правая ось) на разных створах Верхней Оби в 2020 г.

Fig. 2. Annual heat flow (1, first left axis), average annual water temperature (2, second left axis) and average annual daily water flow (3, right axis) at different sections of the Upper Ob in 2020.

Таким образом, изменение годовых значений теплового стока вниз по реке в изученных створах тесно связано с изменением как температуры воды, так и водного стока. Наиболее тесная связь между изменениями значений годового теплового стока и среднегодовой температуры воды вниз по реке наблюдается на створах незарегулированного участка реки. В зарегулированном створе связь со среднегодовой температурой воды нарушается из-за влияния Новосибирского водохранилища.

Известны данные о величине теплового стока в замыкающем створе р. Обь (г. Салехард). Средний тепловой сток за 1930–2000 гг. составлял $13500 \text{ кДж} \cdot 10^{12}/\text{год}$, с межгодовыми изменениями в пределах $7420\text{--}20140 \text{ кДж} \cdot 10^{12}/\text{год}$ [Магрицкий, 2009]. Таким образом, тепловой сток Верхней Оби почти в 3 раза ниже минимального и в 5 раз ниже среднемноголетнего теплового стока Нижней Оби.

Заключение

Внутригодовая динамика теплового стока в Верхней Оби в 2020 г. отлича-

лась на разных створах. В истоке реки не проявлялся выраженный годовой максимум из-за низкой температуры воды в период высоких расходов (май); динамика стока тепла в целом повторяла динамику водного стока.

На участках реки, имеющих более равнинный и многоводный характер (г. Барнаул, г. Камень-на-Оби), динамика теплового стока имела выраженный максимум в первой половине мая за счет сравнительно высоких температур воды и наибольшего в году водного стока. В створе ниже Новосибирского водохранилища майский максимум теплового стока не был выражен за счет более низких температур воды.

Годовые значения теплового стока увеличивались от с. Фоминского до г. Камень-на-Оби от 1793 до $2398 \text{ кДж} \cdot 10^{12}/\text{год}$. В зарегулированном створе (г. Новосибирск) тепловой сток снижался до $2671 \text{ кДж} \cdot 10^{12}/\text{год}$, несмотря на максимальную среднегодовую температуру воды в этом створе.

Конфликт интересов. Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declares that he has no conflict of interest.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00528 и частично в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (результаты, касающиеся створа г. Барнаула).

Список литературы

1. Гидрографы гидропостов / Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/> (дата обращения 22.11.2021).
2. Закономерности гидрологических процессов / Ред. Н.И. Алексеевский. М.: ГЕОС, 2012. 736 с.
3. Магрицкий Д.В. Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. № 5. С. 69–77.
4. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В.М. Савкин [и др.]; отв. ред. О.Ф. Васильев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 393 с.
5. Муравейский С.Д. Реки и озера: гидробиология, сток. М.: Гос. изд-во географ. литературы, 1960. 388 с.

References

1. Gidrografy gidropostov [Hydrographs of gauging stations] / Informatsionnaya sistema po vodnym resursam i vodnomu khozyaystvu basseynov rek Rossii Tsentra registra i kadastra [Information system on water resources and water management of the Russian river basins of the Center of the register and cadastre]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/> (accessed 22.11.2021).
2. Zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov [Regularities of hydrological processes] / Ed. N.I. Alekseevsky. M.: GEOS, 2012.736 p.
3. Magritskiy D.V. Teplovoy stok rek v morya Rossiyskoy Arktiki i yego izmeneniya [Heat runoff of rivers in the seas of the Russian Arctic and its changes] // Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]. Series 5: Geography. 2009. No. 5. P. 69–77.
4. Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha [Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir] / V.M. Savkin [et al.]; ed. O.F. Vasiliev. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. 393 p.
5. Muraveyskiy S.D. Reki i ozera: gidrobiologiya, stok [Rivers and lakes: hydrobiology, runoff]. M.: Gos. izd-vo geograf. literatury, 1960. 388 p.

HEAT FLOW OF THE UPPER OB RIVER FOR 2020

A.V. Kotovshchikov, A.V. Dyachenko

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: kotovschik@iwep.ru, dychenko@iwep.ru

Based on the results of field expedition studies, seasonal observation data on temperature and water discharge at four sections of the Upper Ob were obtained: Fominskoye, Barnaul, Kamen-na-Obi, Novosibirsk. The intra-annual dynamics of the daily heat flow was revealed and its differences were analyzed at different sections. The annual values of the heat flow, the average annual values of the water temperature and the average annual values of the daily runoff for each section were calculated. The character of longitudinal changes in water temperature, heat flow and water runoff were revealed.

Key words: thermal regime of rivers; water runoff; seasonal changes; hydrological regime; geological runoff.

Received September 10, 2021

Сведения об авторах

Котовщикова Антон Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: kotovschik@iwep.ru.

Дьяченко Александр Владимирович - научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: dychenko@iwep.ru

Information about the authors

Kotovshchikov Anton Viktorovich – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: kotovschik@iwep.ru.

D'yachenko Aleksandr Vladimirovich – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: dychenko@iwep.ru