

## ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.04

**А.А. Камышев, С.Н. Рулёва, Р.С. Чалов**  
**РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СТОКА ВОДЫ В РАЗВЕТВЛЕНИЯХ РУСЛА СРЕДНЕЙ ОБИ\****Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва*

В статье содержится информация о распределении расходов воды в период половодья и межени на разных разветвлениях средней Оби (от впадения реки Томи до границы Томской области с Ханты-Мансийским автономным округом). Данные расходов получены в результате измерений, выполненных в ходе экспедиционных исследований в 2014 г. При расчете рассредоточения стока применялась формула Ф.М. Чернышова. При вычислении морфометрических параметров русла задействованы лоцманские карты различных лет (1986 и 2011 гг.). Впервые выполнена проверка формулы Ф.М. Чернышова посредством сопоставления расчетных и измеренных расходов воды. По итогам работ подтверждена высокая точность расчётных данных. Данный факт позволил провести ретроспективный анализ изменений водности рукавов за более чем 25-летний период. Анализ рассредоточения стока по рукавам проводился по одному–двум временным интервалам (с 1986 по 2011 г., с 2011 по 2014 г.). В результате исследования установлены основные закономерности изменений расходов воды в разные фазы водного режима, в зависимости от морфодинамического типа разветвлений и переформирований русла.

Ключевые слова: разветвления русла, рукава, рассредоточение стока, расходы воды, относительная водность рукавов, половодье, межень, формула Ф.М. Чернышова, измерения, расчет.

**A.A. Kamyshev, S.N. Ruliova, R.S. Chalov**  
**WATER FLOW SPREADING IN THE BRAIDED REACH OF THE OB RIVER***Lomonosov Moscow State University, Moscow*

In this paper we provide data concerning the distribution of water flow during the flood and low water periods in the various braided channels of the middle Ob River (from the influx of the Tom River to the border between the Tomsk Region and the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug). The data on water flow were obtained as a result of measurements made during the expeditionary surveys in 2014. The water flow spreading was calculated by the F.M. Chernyshov formula. In the calculation of the morphometric parameters of the channel, pilot maps of different years (1986 and 2011) were used. For the first time the F.M. Chernyshov formula was verified by comparing the calculated and the measured water flows. The results of the work confirmed the high accuracy of the calculated data. This fact made it possible to carry out a retrospective analysis of changes in the relative water content of the river branches over a more than 25-year period. The analysis of water flow spreading over the branches was carried out over one or two time intervals (from 1986 to 2011 and from 2011 to 2014). As a result, the main regularities of the changes in water flow rates in different phases of the water regime have been established depending on the morphodynamic type of branching and reformation of the channel.

Key words: river braided channels, river branches, water flow spreading, water discharge, relative water content of river branches, flood period, low water period, F.M. Chernyshov formula, measurements, calculations.

doi 10.17072/2079-7877-2017-3-48-53

© Камышев А.А., Рулёва С.Н., Чалов Р.С., 2017

\* Выполнено по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-05-03752) и РФФИ-ГФЕН Китая (проект 16-55-53116) и технической поддержке Администрации «Обьводпути» Росморречфлота, Томского и Колпашевского районов водных путей и судоходства

### Введение

Разветвления – наиболее сложный для водохозяйственного и воднотранспортного освоения морфодинамический тип русла, наиболее характерный для больших и крупнейших рек (Оби, Лены, Енисея, Амура, Северной Двины, Печоры). Рассредоточение стока воды по рукавам имеет первостепенное значение для оценки руслового режима рек, обоснования положения судоходной трассы, определения условий водообеспечения населённых пунктов и объектов хозяйственной деятельности на их берегах, разработки прогнозных оценок переформирований русел. Однако измерения расходов воды в рукавах производится на реках очень редко и только при проведении специальных русловых исследований; на практике же преобладает применение различных расчётных методов распределения расходов воды по рукавам, но лишь в единичных случаях осуществляется проверка полученных результатов по натурным данным, позволяющим оценить погрешность расчетов [1; 8]. Поэтому сведения о распределении расходов воды по рукавам, полученные непосредственными измерениями, и их сопоставление с расчетными данными всегда представляют интерес, особенно если они связаны с решением практических задач. Такая работа, выполненная летом 2014 г. в ходе экспедиционных исследований на средней Оби (от устья р. Томи до границы Томской области с Ханты-Мансийским автономным округом), характеризуется практически полным отсутствием измерений расходов воды в рукавах. В пределах этого участка (протяженность 950 км по судовому ходу) имеется два расходных гидрологических поста (в г. Колпашево и с. Александровском), но измерения расходов воды в рукавах никогда не производились. Для удовлетворения нужд судоходства и водообеспечения райцентров Кривошеино, Каргасок, Александровское, п. Надым, Тым и других данные о рассредоточении стока по рукавам и протокам и их временным изменениям имеют первостепенное значение, что обусловлено их тесной связью с переформированиями русла, функционированием водозаборов, обеспечением водных подходов к населённым пунктам, надёжностью подводных переходов через реки. Исключения представляют лишь детальные измерения расходов воды в разветвлениях русла в районе г. Колпашево, которые производились при разработке мероприятий по защите города от размыва [10].

### Общая характеристика реки

Водный режим средней Оби сложный, обусловленный трансформацией стока при пересечении рекой ряда природных зон. На половодье – основную его фазу – приходится большая часть годового стока (до 75%), когда наблюдаются максимальные расходы и наибольшие уровни воды [2]. Сроки начала половодья колеблются в значительных пределах – наступление максимального расхода воды приходится на конец апреля–начало мая, но иногда и на середину июня, как это было в 2014 г. Средняя продолжительность половодья – 83–140 дней.

После слияния с р. Томью Обь становится крупнейшей рекой (среднегодовой расход воды – 2770, максимальный – 29800 м<sup>3</sup>/с по г. Колпашево), её водность увеличивается в 1,6 раза. До границы исследуемого участка реки происходит возрастание водности еще в 1,4 раза за счет впадения ряда крупных притоков (Чулым, Кеть, Парабель, Васюган, Тым и большого количества малых рек).

До г.п. Колпашево прослеживается влияние регулирования стока Новосибирским гидроузлом на водный режим, но сток взвешенных наносов наблюдается и ниже по течению [3].

От устья р.Томи до устья р. Кети руслоформирующие расходы проходят в бровках поймы; ниже устья р. Кети верхний интервал руслоформирующего расхода соответствует уже затопленной пойме [6].

### Методика исследований, результаты измерений и расчетов

Измерения расходов воды в рукавах (табл. 1) были произведены практически во всех разветвлениях участка, в том числе в прорванных излучинах (морфодинамические типы русел приняты в соответствии с классификацией МГУ [7]). Расходы воды измерялись акустическим доплеровским измерителем течений, совмещенным с GPS-навигатором. Створы назначались в верхней или нижней частях каждого рукава, в ряде случаев для контроля – также непосредственно выше узла разветвления.

Работа проводилась в начале спада высокого половодья, вызванного таянием ледников и снегов в горах и обильными осадками на Алтае; уровни воды превышали меженные (проектные) на 6 м, пойма была частично затоплена. Значения расходов воды в реке были близки к руслоформирующим. Полученные данные позволяют оценить относительное распределение расходов по рукавам при высоких уровнях.

Для разветвлений, на которых измерения не производились, были рассчитаны соотношения расходов воды по рукавам для условий межени (при проектном уровне) по формулам Ф. М. Чернышева [11]:

$$\frac{Q_{\text{л}}}{Q_{\text{п}}} = \sqrt{\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{л}}}} \text{ и } F = \frac{n^2 l_{\text{рук}}}{b_{\text{рук}}^2 h_{\text{рук}}^{10/3}},$$

где  $Q_{\text{л}}$  – расход в левом рукаве,  $Q_{\text{п}}$  – расход в правом рукаве,  $F_{\text{л}}$  – модуль сопротивления в левом рукаве,  $F_{\text{п}}$  – модуль сопротивления в правом рукаве,  $n$  – коэффициент шероховатости, который принимался равным для всех рукавов (в связи с однородностью состава донных отложений и отсутствием водной растительности);  $l_{\text{рук}}$  – длина рукава,  $b_{\text{рук}}$  – средняя ширина рукава,  $h_{\text{рук}}$  – средняя глубина рукава. Морфометрические характеристики русла снимались с карты русла (бывш. лоцманская) р. Оби в масштабе 1:10000. Расчёты выполнены для 22 разветвлений из 43 имеющихся на средней Оби (в пределах исследованного участка); в остальных разветвлениях съёмки несудоходных рукавов отсутствуют, неполны или очень схематичны для получения морфометрических характеристик их русел.

Расчеты были произведены для условий 1986 и 2011 гг. (годы составления карт русел), что позволило выявить временные изменения относительной водности рукавов в межень. Кроме того, для разветвлений, в рукавах которых в 2014 г. выполнялись натурные измерения расходов воды во время половодья, расчеты сделаны при уровнях на 6 м, превышающих проектные, т.е. близкие к наблюдающимся во время работ 2014 г.

Для оценки репрезентативности расчетов распределения расходов воды по рукавам в половодье (при срезке 600 см) и в межень (при проектном уровне) для 2011 и 1986 гг. были выполнены соответствующие расчеты для условий половодья 2014 г. с использованием карты русла 2011 г. и её корректировок, предоставленных районами водных путей «Обьводпути», для тех разветвлений, в которых были проведены натурные измерения расходов воды. При этом такие расчеты производились по разветвлениям, в которых за 2011–2014 гг. переформирования русла были несущественными, и состояние его за три года практически не изменилось.

Сравнение процентных соотношений расходов воды в рукавах (табл. 2), полученных с помощью непосредственных измерений и рассчитанных по приведенным формулам, показало, что последние обеспечивают достаточно высокую точность (минимальная ошибка – 1%, средняя – 9%, максимальная – 16%). Наибольшие расхождения отмечены для тех разветвлений, в которых переформирования рукавов за 2011–2014 гг. были наиболее заметными: крупные побочни перекрыли частично заходы в рукава или выходы из них, что привело к сокращению их водности, хотя морфометрические характеристики русел ещё не изменились; произошло изменение параметров излучин в пойменно-русловых разветвлениях или обмеление перекатов и т.д.

### Анализ временных изменений водности рукавов

Выполненные натурные измерения в 2014 г. и расчёты распределения расходов воды по рукавам в 1986 и 2011 гг. позволили определить основные тенденции многолетних изменений водности (табл. 3), установить их связь с морфодинамическим типом разветвлений и происходящими переформированиями русла. Наиболее существенные изменения отмечены в одиночных разветвлениях и в прорванных излучинах. В 4 из 7 одиночных разветвлений (всего их на средней Оби 8) произошло полное перераспределение расходов воды между рукавами, сопровождавшееся обмелением одного и углублением другого, переносом в последний трассы судового хода (Албазинское, Заречное, Сахарное, Лымжинское); в Лукашинском разветвлении судоходный правый рукав стал меньшим по водности (44%), что при сохранении тенденции неизбежно приведёт к тому же; в остальных (Пыжинское, Овечье) изменения водности рукавов трассы фарватера произошли в 60–70-е гг. XX в., но в 1986–2014 гг. продолжалось увеличение доли стока в судоходных рукавах.

Среди прорванных излучин (всего их 15, расчёты выполнены для 6) четыре образовались в рассматриваемый период. Развитие спрямляющих рукавов произошло при достижении их параметрами оптимальных значений ( $l/L > 1,4–1,6$ ;  $L$  – шаг излучины, равный длине спрямляющего рукава,  $l$  – длина русла по излучине – старого русла) [4; 9]. Если в 1986 г. в межень (при проектном уровне) они полностью пересыхали, то в 2011 г. их относительная водность превышала 12%, а на Тискинской излучине проходила уже большая часть расхода воды (62%), и в него был перенесён судовый ход. На остальных прорванных излучинах спрямление русла произошло раньше, и в 1986–2014 гг. водность спрямляющих рукавов продолжала увеличиваться при соответствующем снижении

её доли по старому руслу. Особенно наглядно это проявилось на Кашинской излучине, где доля расхода по старому руслу составляла в межень 42% уже в 1986 г., а в 2014 г. даже в половодье не превышала 19%.

Пойменно-русловые разветвления относятся к наиболее консервативным среди разветвлений средней Оби по перераспределению стока воды между обоими протяженными (иногда более 20 км) извилистыми рукавами. Формируясь там, где русло реки в целом перемещается от одного борта долины к другому и располагаясь по диагонали к общему направлению транзитного потока половодья, затопившего пойму, они характеризуются увеличением относительной водности рукава, образующего более пологий («длинный») перевал половодного потока в многоводные годы (или периоды лет) и, наоборот, более крутой («короткий») в маловодные годы (или периоды лет). Это обеспечивает равнозначность морфометрических характеристик обоих рукавов и относительное постоянство распределения между ними стока воды во времени. Различия возникают из-за неодинаковой длины рукавов и их извилистости, а также вследствие переформирования русла, которые могут привести к направленному за многолетний период перераспределению стока [7]. Так, в Мизуринском разветвлении расходы воды в рукавах в межень (2011 г.) составляли 92 и 8% от общего, в Аксиомском – 93 и 7% в 1986 г. и 98 и 2% в 2011 г., т.е. происходит постепенное отмирание этих разветвлений. В то же время в разветвлении Кольджа в многолетнем плане относительная водность рукавов практически не изменилась. В Кривошеинском разветвлении произошло в 1986–2011 гг. перераспределение стока в пользу правого рукава («длинный» перевал), и в него был переведён судовой ход. Это осложнило водный подход к райцентру Кривошеино, находящегося на левом берегу в нижней части левого рукава, и при сохранении тенденции снижения его водности функционирование водозабора. То же самое в середине XX в. произошло в Тымском разветвлении, где вне водного пути оказался крупный п. Тым (в правом рукаве). Неблагоприятная ситуация может сложиться в Канеровском разветвлении русла у Колпашево: здесь прослеживается тенденция снижения водности левого судоходного рукава и увеличения водности правого, который отличается более сложной морфологией русла. Наоборот, в Колтогоровском разветвлении наблюдается постепенное увеличение водности левого судоходного рукава (за 25 лет на 11%).

В Нарымском разветвлении переформирования, связанные с ростом побочня, перекрывающего заход в левый судоходный рукав, его частичное отторжение и снова увеличение его размеров сопровождается разнонаправленными изменениями водности рукавов в каждый временной интервал: в 1986–2011 гг. она увеличивалась в левом судоходном рукаве, соответственно сокращалась в правом; в 2011–2014 гг., наоборот, сокращалась в левом и росла в правом.

Существенное перераспределение стока произошло в единственном на средней Оби параллельно-рукавном разветвлении, в котором большая часть общего расхода воды переместилась в правый рукав, оставив вне судоходной трассы райцентр Александровское. Характерно, что это происходит на общем фоне трансформации этого типа русла в одиночное разветвление из-за обмеления верхней части левого рукава (у первого острова в цепочке островов, образующих разветвление).

В односторонних разветвлениях (их 8 на рассматриваемом участке) колебания водности второстепенных рукавов незначительны (в пределах 5%), не испытывают направленных изменений, хотя доля расхода в некоторых из них достаточно велика (25%, как в Сарафановском разветвлении).

Общим для всех разветвлений (вне зависимости от их типа) является выравнивание доли стока в рукавах во время половодья за счёт её увеличения в маловодных и снижения в многоводных, причём в отдельных случаях наблюдается обратное соотношение относительной водности в разные фазы режима. Таково перераспределение расходов воды в Нарымском разветвлении, в котором в 2011 г. в правом рукаве проходило в межень (при проектном уровне) 49% стока воды, в половодье 52%, в левом судоходном – 60% в межень и 48% в половодье. В Лымжинском разветвлении в 2011 г. имело место выравнивание водности обоих рукавов в половодье, тогда как в межень водность правого судоходного в 3 раза больше (в последние годы переформирования русла привели к постоянному доминированию водности правого рукава во все фазы режима).

### Заключение

Выполненные исследования позволили впервые получить данные о рассредоточении стока воды во всех разветвлениях средней Оби от устья р. Томи до границы Томской области и ХМАО.

Применение методики Ф.М. Чернышова для расчета распределения расходов воды по рукавам крупнейшей реки и их сопоставление с результатами непосредственных измерений показали ее

высокую точность при наличии качественных планов русел основных и второстепенных рукавов, полученных в ходе русловых изысканий.

В результате появилась возможность вместе с натурными измерениями провести ретроспективный анализ динамики водности рукавов за последние 25–30 лет по двум–трём временным интервалам (1986–2011–2014 гг.) и установить закономерности этих изменений в разные фазы водного режима, в зависимости от морфодинамического типа разветвлений и их многолетних переформирований.

Результаты исследований позволяют решать водохозяйственные и воднотранспортные задачи, давать прогнозные оценки переформирований русла при изменении водности рек.

#### Библиографический список

1. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвлённого русла. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 240 с.
2. Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург: Аква-Пресс, 2000. 536 с.
3. Вострякова Н.В., Лысенко В.В., Широков В.М. Преобразование твердого стока в среднем течении р. Оби // Труды СибНИИЭ. 1975. Вып. 27. С. 34–45.
4. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
5. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ-плюс, 2001. 300 с.
6. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 234 с.
7. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
8. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
9. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 371 с.
10. Чалов Р.С., Сурков В.В., Рулёва С.Н., Беликов В.В., Завадский А.С. и др. Русловые процессы на р. Оби в районе г. Колпашево, размыв города, компьютерное моделирование потока и обоснование оптимального варианта защитных мероприятий // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 18. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. С. 205–243
11. Чернышов Ф.М. Повышение эффективности путевых работ на многоорукавных участках судоходных рек. Новосибирск: Изд-во НИИВТ, 1973. 324 с.

#### References

1. Alekseevskiy, N.I. and Chalov S.R. (2009), *Gidrologicheskie funktsii razvetvlennoogo rusla* [Hydrological impacts of braided channels], Faculty of Geography of MSU, Moscow, Russia.
2. Chernyaev, A.M. (2000), *Voda Rossii. Rechnye basseiny*, in Chernyaev A.M. (ed.), Akva-Press, Yekaterinburg, Russia.
3. Vostryakova, N.V. (1975), “Preobrazovanie tverdogo stoka v srednem techenii r.Ob’”, *trydy SibNII*, vol. 27, pp. 34–45.
4. Makkaveev, N.I. (1955), *Ryslo reki i eroziya v ee basseine*, Izd-vo AN SSSR, Moscow, USSR.
5. *Ryslovye processy i vodnye pyti na reках Ob'skogo basseina* (2001), RИPEL-plus, Novosibirsk, Russia.
6. Chalov, R.S. (1979), *Geograficheskie issledovaniya ryslovykh processov*, Izd-vo MSU, Moscow, USSR.
7. Chalov, R.S. (2011), [Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 2: Morphodynamics channels], KRASAND, Moscow, Russia.
8. Chalov, R.S., Alabyan, A.M., Ivanov, V.V., Lodina, R.V. and Panin, A.V. (1998), *Morfodinamika rysel ravninnykh rek*, GEOS, Moscow, Russia.
9. Chalov, R.S., Zavadsky, A.S. and Panin, A.V. (2004), *Rechnye izluchiny*, [River meanders], University Press., Moscow, Russia.
10. Chalov, R.S., Syrkov, V.V., Ryleva, S.N., Belikov, V.V., Zavadsky, A.S., Bondarev, B.P., Ilyasov, A.K., Krylenko, I.V., Krylenko, I.N. and Tyrykin, L.A. (2012), “Ryslovye processy na r. Ob’ v raione g. Kolpashevo, razmyv goroda, komputernoe modelirovanie potoka I obosnovanie optimalnogo variant zaschitnykh meropriyatii”, *Eroziya pochv I ryslovye process*. Vol. 18, Geograf. F-t MSU, Russia, pp. 205–243.
11. Chernyshov, F.M., (1973), *Povyshenie effektivnosti pytevykh работ na mnogorykavnykh ychastkah sydohodnykh rek*, IZD-vo NIIWT, Novosibirsk, USSR.

Поступила в редакцию: 31.05.2017

**Сведения об авторах****Камышев Арсений Андреевич**

магистрант кафедры гидрологии Московского государственного университета им.

М.В. Ломоносова;

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

e-mail: arsenii.kamyshev@yandex.ru

**Рулёва Светлана Николаевна**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской

лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. В.М. Ломоносова;

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

e-mail: mnks1@yandex.ru

**Чалов Роман Сергеевич**

доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши, заведующий Научно-

исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова;

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

e-mail: rschalov@mail.ru

**About the authors****Arsenii A. Kamyshev**

Master's Student, Department of Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State

University;

Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

**Svetlana N. Ruliova**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Erosion and Fluvial

Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

**Roman S. Chalov**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Hydrology, Faculty of Geography,

Lomonosov Moscow State University;

Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Камышев А.А., Рулёва С.Н., Чалов Р.С.* Рассредоточение стока воды в разветвлениях русла средней Оби // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №3(42). С. 48–53. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-48-53

**Please cite this article in English as:**

*Kamyshev A.A., Ruliova S.N., Chalov R.S.* Water flow spreading in the braided reach of the Ob river // Geographical bulletin. 2017. № 3(42). P. 48–53. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-48-53

УДК 556.5.01

**А.П. Лепихин**

**К АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

*Лаборатория проблем гидрологии суши ГИ УрО РАН,  
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

Достаточно традиционным подходом для гидрографии является установление и анализ специфических различий в характере и структуре водосборных бассейнов, обусловленных различием географических условий. Но может быть и другой подход – анализ характерных общих особенностей в структуре рассматриваемых водных объектов. В данной работе предпринята попытка выявления данных общих специфических особенностей и установления механизмов их формирования. На основе анализа имеющихся данных по распределению количества рек, их длин  $L$  и площадей