

УДК 504.45

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАСЕЙНА РЕКИ ШЕШМА

Урбанова О.Н., Семанов Д.А., Горшкова А.Т., Мутыгуллина Ю.В.,
Бортникова Н.В., Рыков Р.А.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, e-mail: urbanovoi@mail.ru

Повторяющееся закономерное изменение гидрологических характеристик водного объекта представляет собой его гидрологический режим, случайные изменения которого подчиняются вероятностным законам и поддаются статистическому анализу. Возможность изменения стока бассейна р. Шешма была выявлена методами математической статистики на основе сравнения модулей стока за разные временные периоды. Проанализированы причины изменений гидрологических характеристик. Длительные наблюдения за гидрологическим режимом водного объекта, проводящиеся на государственной гидрологической сети и при всех видах гидрометеорологических изысканий, являются наиболее точным способом определения основных гидрологических характеристик (уровней и расходов воды). Однако они дают результат «здесь и сейчас» – именно в створе, где проведены измерения, и именно в данный момент времени, оставляя в стороне причины их пространственного и временного изменения. Геологическое строение бассейна р. Шешма по праву является основным природным фактором, влияющим на формирование гидрологических характеристик. Измерение расходов воды на р. Шешма и ее притоках, проведенное летом 2019 г., и последующая обработка полученных данных позволили оценить современное гидрологическое состояние бассейна и сравнить полученные результаты с архивными данными лаборатории гидрологии Института проблем экологии и недропользования Академии наук РТ (на 1992 г.). Выявление различий гидрологических характеристик стока р. Шешма в этом временном разрезе стало целью настоящего исследования. Исчезновение и появление новых притоков р. Шешма вызвало перераспределение водосборных площадей частных бассейнов, что, в свою очередь, привело к увеличению модулей поверхностного и подземного стока.

Ключевые слова: морфометрия, гидрология, речной бассейн, модуль стока, расход воды

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF HYDROLOGICAL PARAMETERS OF THE SHESHMA RIVER BASIN

Urbanova O.N., Semanov D.A., Gorshkova A.T., Mutygullina Yu.V.,
Bortnikova N.V., Rykov R.A.

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, e-mail: urbanovoi@mail.ru

The repeated change in the hydrological characteristics of a water body is its hydrological mode. Changes in characteristics are subject to probabilistic laws and are calculated by statistical analysis. Changes in the parameters of the river name Sheshma was identified by the methods of mathematical statistics based on the comparison of runoff modules for different time periods. The reasons for changes in hydrological characteristics are analyzed. Long-term observations of the hydrological regime of a water body, carried out on the state hydrological network and in all types of hydrometeorological surveys, are the most accurate way to determine the main hydrological characteristics (water levels and discharge). They give the result «here and now», exactly in the alignment where the measurements were made and exactly at a given moment in time without taking into account the reasons for their spatial and temporal change. Geological structure of the river name Sheshma is the main natural factor in the formation of hydrological characteristics. Measurement of water discharge of rivers in the basin river name Sheshma 2019, and statistical, analysis made it possible to assess the current and archival state of the river basin (1992 DB Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences). The purpose of our research was to identify the differences in the hydrological characteristics of the river name Sheshma. The disappearance and appearance of new tributaries of the river. Sheshma caused a redistribution of catchment areas, led to an increase in the modules of surface and underground runoff.

Keywords: morphometry, hydrology, river basin, flow modulus, water discharge

Гидрологическое состояние – это совокупность гидрологических характеристик, закономерные изменения которых во времени формируют режим водного объекта, который во многом обусловлен физико-географическим положением водного объекта и лишь внешне отражает сложные многофакторные процессы взаимодействия водных объектов, атмосферы и литосферы. Вследствие сложности этих процессов, недостаточного знания их природы, гидрологический режим часто рассматривается как явление, подверженное случайным из-

менениям, подчиняющимся вероятностным законам и поддающимся статистическому анализу.

Обработка материалов гидрометрических измерений, проведенных летом 2019 г. в бассейне р. Шешма, выявила увеличение меженных расходов воды по сравнению с данными измерений середины XX в. Анализ результатов показал, что средние многолетние расходы воды рек, будучи относительно стабильными в период 1960–1995 гг., в последующие годы практически повсеместно увеличились в среднем

на 40–60%, что соотносимо с данными наблюдений стационарных постов гидрометеорологической службы за стоком малых рек Республики Татарстан [1]. В геологическом измерении подобный темп нарастания водности представляется нехарактерным для природы ускоренным изменением гидрологических характеристик.

Геологическую основу бассейна р. Шешма составляют две крупнейшие структуры II порядка (пологий западный склон Южно-Татарского свода и восточный борт Мелекесской впадины), подстилаемые обширной Волго-Уральской антеклизой. Местоположение бассейна на широкой полосе контакта этих геологических структур способствует глубокому эрозионному врезу долины и русла реки. События четвертичного геологического периода с характерной для него ритмичностью колебательных движений земной коры значительно преобразовали рельеф территории, создав здесь целый комплекс морфологически хорошо выраженных речных террас, особенно по левому склону долины [2].

Общее падение геологических структур направлено на запад и северо-запад под некоторым углом к основному направлению течения реки, что определяет наклон водопоров и пьезометрический напор водоносных горизонтов, обуславливая периферийное и вертикальное перемещение подземных вод, поступающих в р. Шешма и ее притоки. Если водоносные горизонты лежат ниже русла реки, то прямой приток воды в русло, вероятнее всего, отсутствует и река в межень пересыхает. Если водоносные горизонты лежат на уровне речных долин, то приток подземных вод гарантированно поступает в реку, и она становится многоводной на всем протяжении. Ярким примером этого являются левобережные притоки р. Шешма, текущие к основной реке в направлении обратном падению геологических напластований. Так, прорезая одни и те же стратиграфические горизонты, р. Каменка имеет подземный приток в русло, во много раз превышающий поверхностный. При этом соседние реки остаются маловодными (р. Секинесь) либо занимают некоторое промежуточное положение (р. Челна, Толкишка) [3].

Наиболее информативным показателем, отражающим характер питания рек в меженный период, является модуль стока, величина которого не зависит от водности отдельных лет и характеризует сток реки в целом со всего водосбора. Анализ изменения модуля стока, а также других гидро-

логических параметров во временном периоде, выявление причин их изменения стало целью настоящего исследования.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили гидрологические характеристики р. Шешма в местах впадения всех притоков первого порядка. Для более детального анализа выбран модуль стока как самый информативный трехмерный (объем, площадь, время) показатель. Изменения модуля стока выявлялись методом сравнения двух групп данных (1992 и 2019 гг.), являющихся выборками одного и того же параметра, наблюдаемого в разное время на одном и том же водном объекте. Выборки – это лишь часть случайно отобранных однородных значений из более обширной генеральной совокупности данных. Число элементов в выборках, являющихся их важнейшей характеристикой, составило для бассейна р. Шешма 109–142 единицы, а для притоков – 4–39.

Сравнение модулей стока проводилось методами математической статистики – парным критерием Вилкоксона (различие при $p < 0,05$) и парным критерием Стьюдента (одностороннее различие при $p < 0,025$). Критерий Вилкоксона использован для оценки различий между двумя статистическими рядами данных, полученных в разное время. Критерий Стьюдента использован для проверки однородности рядов по среднему значению, 95%-ные доверительные интервалы которого (параметрический и непараметрический) и медианы относительной разницы между значениями в случае различия не включают нулевое значение. Среднее значение и медиана относительной разницы отразили возможность изменения стока. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнение модуля стока показало увеличение водности р. Шешма и ее крупных притоков, обусловленное увеличением поверхностного стока, модуль которого возрос на 1,0–8,5 л/сек*км² на участке от истоков р. Шешма до впадения р. Лесная Шешма и далее до устья на 0,02–0,82 л/сек*км². Количество воды, поступающей в русло р. Шешма подземным путем, в целом в бассейне осталось на прежнем уровне, но на межприточных участках отмечены случаи как увеличения модуля стока на 0,03–4,0 л/сек*км², так и уменьшение его значений на 1,70–32,4 л/сек*км².

Таблица 1

Сравнение модуля стока в бассейне р. Шешма за 30-летний период

Река	Числен. выборки	Критерий Уилкоксона (парный)	Критерий Стьюдента для связанных выборок	Среднее значение относительной разницы	Медиана относительной разницы	Вывод
Сравнение модуля поверхностного стока						
Бассейн Шешмы в целом	142	863 (p = 0)	6,18 (p = 3,22*10 ⁻⁹)	0,132 [0,258; -0,00613], [-0,257; -0,00721]	-0,229 [-0,305; -0,148]	Сток изменился
Шешма	49	13 (p = 2,47*10 ⁻⁶)	3,75 (p = 2,39*10 ⁻⁴)	-0,205 [-0,262; -0,148], [-0,261; -0,150]	-0,116 [-0,274; -0,0889]	Сток изменился
Лесная Шешма	21	50 (p = 0,0228)	8,00 (p = 0,217)	0,271 [-0,510; 1,05], [-0,463; 1,01]	-0,216 [-0,282; -0,148]	Сток может измениться в нижнем течении
Кувак	12	0 (p = 0,00222)	6,41 (p = 2,49*10 ⁻⁵)	-0,118 [-0,159; -0,0780], [-0,154; -0,0824]	-0,106 [-0,163; -0,0621]	Сток изменился
Вятка	6	18 (p = 0,116)	2,61 (p = 0,0238)	0,171 [0,00142; 0,340], [0,0417; 0,300]	0,222 [-0,0103; 0,300]	Сток может измениться в нижнем течении
Бол. Каменка	4	9 (p = 0,144)	1,83 (p = 0,0824)	0,328 [-0,239; 0,895], [-0,0215; 0,677]	0,275 [0,0752; 0,475]	Изменение стока выявить не удалось
Секинь	4	6 (p = 0,715)	0,216 (p = 0,421)	0,0453 [-0,282; 0,373], [-0,157; 0,247]	0,0522 [-0,102; 0,206]	Сток не изменился
Кичуй	39	0 (p = 5,26*10 ⁻⁸)	6,17 (p = 1,67*10 ⁻⁷)	-0,515 [-0,550; -0,481], [-0,548; -0,482]	-0,479 [-0,542; -0,441]	Сток изменился
Толкишка	6	18 (p = 0,116)	2,03 (p = 0,049)	0,791 [-0,0512; 1,63], [0,149; 1,43]	1,20 [-0,168; 1,34]	Изменение стока выявить не удалось
Сравнение модуля подземного стока						
Бассейн Шешмы в целом	110	2699 (p = 0,292)	0,693 (p = 0,245)	0,517 [0,0620; 0,972], [0,0670; 0,967]	-0,224 [-0,396; 0,0213]	Сток не изменился
Шешма	38	231 (p = 0,0431)	0,170 (p = 0,433)	0,125 [-0,463; 0,713], [-0,444; 0,694]	-0,458 [-0,560; -0,228]	Изменение стока выявить не удалось
Лесная Шешма	15	42,5 (p = 0,320)	0,535 (p = 0,300)	0,0493 [-0,450; 0,351], [-0,415; 0,317]	-0,379 [-0,493; 0,380]	Сток не изменился
Кувак	8	24 (p = 0,401)	1,10 (p = 0,154)	0,882 [-1,012; 2,78], [-0,694; 2,46]	0,0644 [-0,278; 0,873]	Сток не изменился

Окончание табл. 1							
Река	Числен. выборки	Критерий Уилкоксона (парный)	Критерий Стьюдента для связанных выборок	Среднее значение относительной разницы	Медиана относительной разницы	Вывод	
Вятка	4	10 (p = 0,0679)	1,45 (p = 0,120)	0,171 [0,00142; 0,340], [0,0417; 0,300]	0,222 ([-0,0103; 0,300])	Сток не изменился	
Бол. Каменка	4	9 (p = 0,144)	1,83 (p = 0,0824)	1,29 [-1,35; 3,92], [-0,339; 2,91]	0,790 ([0,0625; 1,517])	Сток не изменился	
Секинь	3	4 (p = 0,593)		0,413 ([-2,20; 3,02], [-0,776; 1,60])	0,118	Изменение стока выявить не удалось	
Кичуй	36	309,5 (p = 0,928)	0,224 (p = 0,412)	0,294 ([-0,174; 0,762], [-0,157; 0,746])	-0,141 ([-0,488; 0,254])	Сток не изменился	
Толкишка	4	9 (p = 0,144)	1,57 (p = 0,107)	7,04 [-6,14; 20,2], [-1,08; 15,2])	5,76 ([1,86; 9,67])	Сток не изменился	
Сравнение модуля подземного стока межприточья							
Бассейн Шешмы в целом	109	4575 (p = 1,85 · 10 ⁻⁶)	3,58 (p = 2,60 · 10 ⁻³)	3,65 [2,06; 5,25], [2,08; 5,23])	0,852 ([0,358; 1,40])	Сток изменился	
Шешма	39	563 (p = 0,0158)	2,74 (p = 0,00464)	3,09 ([0,972; 5,21], [1,04; 5,14])	0,806 ([-0,369; 1,66])	Сток изменился	
Лесная Шешма	16	118 (p = 0,00973)	2,45 (p = 0,0136)	4,28 ([-0,0559; 8,61], [0,296; 8,26])	1,03 ([0,244; 4,73])	Сток изменился	
Кувак	6	21 (p = 0,0277)	2,47 (p = 0,0282)	8,64 ([-6,18; 23,5], [-2,66; 19,9])	2,53 ([0,392; 9,57])	Изменение стока маловероятно	
Вятка	4	9 (p = 0,144)	1,72 (p = 0,0916)	3,29 ([-2,15; 8,73], [-0,0636; 6,64])	3,02 ([2,02; 4,02])	Изменение стока выявить не удалось	
Секинь	3	5 (p = 0,285)		1,22 ([-1,94; 4,37], [-0,222; 2,66])	0,136	Изменение стока маловероятно	
Кичуй	36	529 (p = 0,0208)	2,15 (p = 0,0193)	4,01 (0,540; 7,48], [0,660; 7,36])	0,963 ([0,339; 2,45])	Сток изменился	
Толкишка	3	0 (p = 0,109)		-0,927 ([-1,11; -0,741], [-1,01; -0,842])	-0,951	Сток не изменился	

Поверхностный сток на притоках р. Шешма изменился незначительно. На р. Лесная Шешма и Кувак модуль поверхностного стока увеличился на 0,30–0,85 л/сек*км² и 0,15–0,69 л/сек*км² соответственно, а в бассейне р. Вятка он, наоборот, уменьшился на 0,20 л/сек*км². Подземный сток в бассейнах этих рек остался в прежних пределах, что обусловлено геологическим строением бассейнов, сложенных мощным водоносным верхнеказанским карбонатно-терригенным комплексом морских отложений. В бассейне р. Секинесь поверхностный сток, так же как и подземный, до середины реки незначительно уменьшился (на 0,03 л/сек*км²) и затем на эту же величину увеличился. Наибольшие изменения отмечены в бассейне р. Кичуй. Здесь поверхностный сток в верхнем течении реки возрос на 5,0 л/сек*км², а в среднем и нижнем течении увеличился только на 1,3–1,8 л/сек*км², при неизменном подземном стоке.

Причины такого колеблющегося поведения модулей стока во многом зависят от климата данной территории, на общем фоне воздействия которого проявляется влияние других, не климатических факторов. Одним из таких мощных природно-антропогенных факторов явилось создание Куйбышевского водохранилища, влияющего не только на характер перераспределения подземного стока, но и на структуру речных русел. На эту мысль наталкивает факт видимой трансформации речной сети бассейна р. Шешма, суммарная длина которой сократилась со времени создания водохранилища на 260 км, при этом длина самой Шешмы уменьшилась на 69,0 км. Основная доля гидрографических преобразований отмечена в зоне воздействия подпора, простирающегося по рельефу местности выше границ координатной отметки 53,0 м БС, соответ-

ствующей нормальному подпорному уровню Куйбышевского водохранилища [4]. Количество притоков периферийного порядка после трансформации бассейна изменилось с 430 до 374 (табл. 2).

Наименьшее преобразование отмечено у притоков первого и второго порядков, а вот число притоков III и IV порядков значительно сократилось – на 37 и 15 соответственно. Наглядное представление об изменении структуры речной сети бассейна р. Шешма отражено на рисунке.

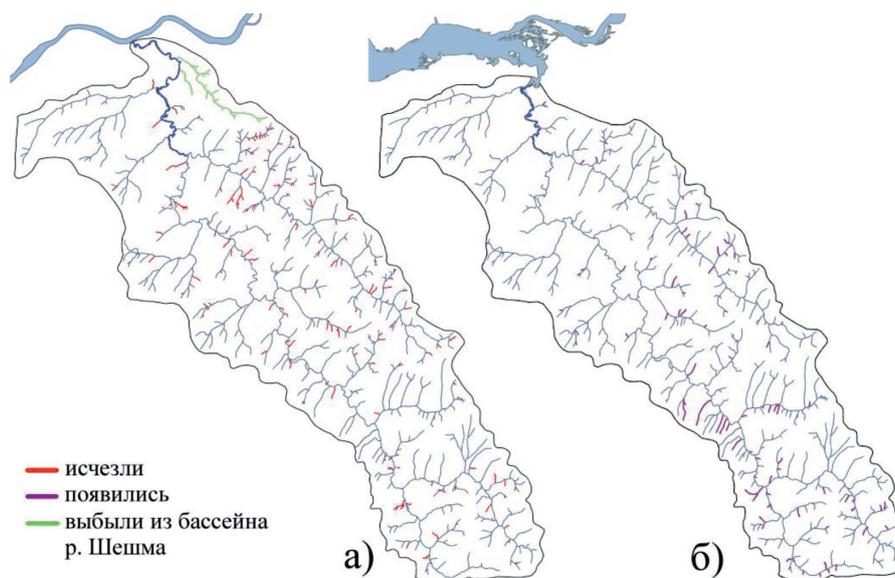
В течение рассматриваемого временного периода произошло и уменьшение площади водосбора р. Шешма на 65,9 км², одной из причин которого стало уменьшение длины самой реки. В результате появления новых и исчезновения когда-то существовавших мелких притоков произошло перераспределение площадей водосбора внутри бассейна. Они уменьшились у левосторонних притоков р. Шешма, а также притоков р. Лесная Шешма, Кувак, Багряжка и увеличились в верховьях р. Шешма и в бассейне р. Кичуй [5].

Водность реки определяется величиной бассейна, включающего поверхностную и подземную части, размеры которых почти никогда не совпадают. Часто бывает так, что подземный водосбор выходит за пределы поверхностного, и тогда подземный сток, сформированный в бассейне одной реки, поступает в другую. Так происходит с р. Кувак, куда разгружаются глубокие напорные воды из тектонического понижения, расположенного на водоразделе р. Лесная Шешма (бассейн р. Шешма) и Зай-Кара-тай (бассейн р. Степной Зай). С межприточных участков, примыкающих к руслам рек, подземные воды поступают непосредственно в сами водотоки, и по мере расходования они пополняются из более удаленных частей по всему периметру бассейна.

Таблица 2

Трансформация речной сети бассейна р. Шешма

Середина XX в.			2020-е гг.		
Порядок притоков	Кол-во притоков, шт.	Суммарная длина притоков, км	Порядок притоков	Кол-во притоков, шт.	Суммарная длина притоков, км
р. Шешма	1	303,1	р. Шешма	1	234,1
I	70	698,1	I	68	647,3
II	175	797,8	II	175	718,9
III	140	307,1	III	103	262
IV	40	75,3	IV	25	56,1
V	5	2,8	V	3	5,8
Итого/с учетом р. Шешма	430/431	1881,1/2184,2	Итого/с учетом р. Шешма	374/375	1690,1/1924,2



*Изменение структуры речной сети бассейна р. Шешма:
а) состав речной сети в середине XX в.; б) состав речной сети в 2020-е гг.*

Этот процесс может продолжаться в течение многих лет, обеспечивая устойчивую величину меженного стока, как это было при аналогичных обстоятельствах в засушливые периоды 1932–1939 гг. и 1972–1975 гг., то есть с повторяемостью 1 раз в 30 лет.

Изменение морфологических характеристик водосбора повлекло за собой почти повсеместное увеличение меженных расходов воды. Почти на 100% возрос расход воды на участке от истока р. Шешма до места впадения левого притока из Карагай (234,1–206,6 км от устья). Обусловлено это отложениями нижеказанского подъяруса с двумя постоянными мощными водоносными горизонтами, способствующими развитию речной сети этой территории. За 30-летний период здесь дополнительно сформировалось 7 небольших (0,4–2,8 км длиной) новых притоков. Ниже по течению р. Шешма меженный расход увеличивается не так стремительно. На участке между притоком из Карагай и р. Лесная Шешма (206,6–190,4 км от устья) процент увеличения расходов воды меняется вниз по течению от 65 до 12, а ниже р. Лесная Шешма он составляет 1,0–8,0% вплоть до р. Красная (66,6 км от устья). От р. Красная до устья меженные расходы в р. Шешма вновь возрастают на 35–46%. Сток на этом участке формируется преимущественно за счет правобережных притоков и в первую очередь за счет р. Кичуй. Все левобережные

притоки р. Шешма, расположенные ниже впадения р. Кичуй, имеют незначительное питание типа верховодок, поскольку эта часть бассейна характеризуется маломощными водоносными горизонтами.

Заключение

Выявлено изменение гидрологического состояния бассейна р. Шешма, проявляемое в изменении морфологических параметров и гидрологических характеристик. На основе выбранного из генеральной совокупности данных статистического ряда гидрологических величин (модуля стока) методами математической статистики определена возможность изменения стока во временном периоде. Отмечено, что исчезновение и появление новых притоков р. Шешма вызвало перераспределение водосборных площадей частных бассейнов, что в свою очередь привело к увеличению модулей поверхностного и подземного стока притоков и межприточья и, как следствие, увеличению меженных расходов воды на 35–46% в устье р. Шешма, что соотносится с данными многолетних наблюдений гидрометеослужбы.

Список литературы / References

1. Захаров С.Д., Соколов А.А. Временная изменчивость годового и максимального речного стока водотоков Республики Татарстан // Чистая вода: сборник трудов V Международного конгресса (г. Казань, 26–28 марта 2014 г.). Казань: Изд-во ООО «Куранты», 2014. С. 78–81.

Zakharov S.D., Sokolov A.A. Temporal variability of the annual and maximum river runoff of watercourses in the Repub-

lic of Tatarstan // Chistaya voda: sbornik trudov V Mezhdunarodnogo Kongressa (g. Kazan', 26–28 marta 2014 g.). Kazan': Izd-vo OOO «Kuranty», 2014. P. 78–81 (in Russian).

2. Можжерин В.В. Геолого-геоморфологические условия размещения залежей нефтяных битумов и битумоизлияний в бассейне средней Шешмы (Республики Татарстан) // Геоморфология. 2011. № 4. С. 33–45.

Mozzherin V.V. Geological and geomorphological conditions for the location of deposits of oil bitumen and bitumen eruptions in the basin of the middle Sheshma (Republic of Tatarstan) // Geomorfologiya. 2011. № 4. P. 33–45 (in Russian).

3. Ермолаев О.П., Игонин М.Е., Бубнов А.Ю., Павлова С.В. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ. Казань: Изд-во «Слово», 2007. 411 с.

Ermolaev O.P., Igonin M.E., Bubnov A.Yu., Pavlova S.V. Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-

ecological analysis. Kazan': Izd-vo «Slovo», 2007. 411 p. (in Russian).

4. Горшкова А.Т., Урбанова О.Н., Бортникова Н.В., Валетдинов А.Р., Горбунова Ю.В. Экономико-географические аспекты формирования современной гидрографической сети // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 1. С. 19–28.

Gorshkova A.T., Urbanova O.N., Bortnikova N.V., Valetdinov A.R., Gorbunova Yu.V. Economic and geographical aspects of the formation of a modern hydrographic network // Geologiya, geografiya i global'naya ehnergiya. 2018. № 1. P. 19–28 (in Russian).

5. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Казань: Изд-во «Фолиант», 2015. 512 с. с ил.

Water bodies of the Republic of Tatarstan. Hydrographic reference book. Izdanie vtoroje, pererabotannoe i dopolnennoe. Kazan': Izd-vo «Foliant», 2015. 512 p. s ill. (in Russian).