

УДК 556.51:911.52(571.150)

Д.В. Золотов, Д.В. Черных

**Репрезентативность модельного бассейна р. Касмалы
для сравнительных ландшафтно-гидрологических
исследований на Приобском плато**

D.V. Zolotov, D.V. Chernykh

**The representativeness of the Kasmala River Model Watershed
for Comparative Landscape-Hydrological Studies
at the Ob Plateau**

Показано, что бассейн р. Касмалы, сочетая в своей структуре основные геолого-геоморфологические элементы Приобского плато (Алтайский край) и располагаясь в подзоне южной лесостепи, может служить ландшафтно-гидрологической моделью для всех рек плато, наследующих ложбины древнего стока. При сравнении среднемесячных расходов воды и годовых гидрографов в 1942, 1945–1959 гг., площади и зонального положения бассейнов четырех рек (Барнаулка, Касмала, Кулунда, Бурла) выяснилось, что подавляющая часть речного стока Приобского плато формируется в его лесостепной части. В степной части плато осадки расходуются на испарение и питание грунтовых вод, поэтому степные фрагменты бассейнов практически не увеличивают годовой объем стока. Вследствие этого результаты изучения стока модельного бассейна в южной лесостепи могут быть экстраполированы на Приобское плато. Выявлено, что характер годового гидрографа стока рек плато зависит в первую очередь от соотношения в их бассейнах увалов и днищ ложбин древнего стока. Чем выше доля увалов, тем выше паводок и ниже расходы межени, а также повышается вероятность второго небольшого пика расходов в октябре – ноябре.

Ключевые слова: речной сток, годовой гидрограф, модельный водосборный бассейн, Приобское плато.

DOI 10.14258/izvasu(2014)3.1-24

Введение. Бассейны рек Приобского плато, за исключением транзитной р. Алей, весьма сходны в гидрографическом и ландшафтном отношении: а) по зональным условиям; б) по режимам природопользования; в) современные долины рек заложены по днищам *ложбин древнего стока (ЛДС)*, ориентированным в юго-западном направлении. «Основной признак подобия рек — сходство ландшафтных условий формирования их поверхностного стока» [1, с. 532]. Основное отличие рек Приобского плато в том, что одни (Бурла, Кулунда) наследуют течение древних потоков, а другие (Касмала, Барнаулка) имеют про-

The Kasmala River watershed is situated in the southern forest-steppe subzone of the Ob Plateau (Altai Krai) and combines in its own structure the main geological-geomorphological elements of that territory. It is shown that this watershed can serve as a landscape-hydrological model for all plateau's rivers inheriting an ancient flow valleys. When comparing average monthly water discharge and annual hydrographs in 1942, 1945–1959, the area and zonal position of four river watersheds (Barnaulka, Kasmala, Kulunda, Burla) it became clear that the most part of the Ob Plateau river runoff is formed in its forest-steppe part. In the plateau steppe part precipitation is spent for evaporation and partly replenishment of ground waters therefore steppe fragments of the watersheds practically do not increase the annual runoff volume. Thus the study results of the model watershed runoff in the southern forest-steppe can be extrapolated to the Ob Plateau. It is revealed that the type of an annual hydrograph of the plateau rivers runoff depends mainly on a ratio of ridges and the ancient flow valley bottom in their watersheds. The higher the ridges share is the higher spring flood and lower low water are. Furthermore, the probability of the second small peak of discharge in October – November increases.

Key words: river runoff, annual hydrograph, model watershed, the Ob Plateau.

тивоположное северо-восточное направление, впадая в р. Обь.

Кроме этого, каждый из рассматриваемых бассейнов имеет ряд структурных особенностей. Бурла и Кулунда начинаются в подзоне южной лесостепи и последовательно пересекают несколько подзон степной зоны — умеренно-засушливо-степную, засушливо-степную и сухо-степную, т.е. их верховья находятся в районах с большим увлажнением, чем низовья. При этом Кулунда в верховьях протекает в пределах Верхне-Кулундинской ЛДС, а в низовьях — в пределах Нижне-Кулундинской ЛДС, рассекая разделяющий их увал.

Впадающие в р. Обь Барнаулка и Касмала характеризуются тем, что в направлении к их низовьям атмосферное увлажнение увеличивается [2]. Однако при близкой протяженности вмещающих их ЛДС реки сильно различаются по длине и площади бассейна, поскольку бассейн р. Барнаулки полностью охватывает Барнаульскую ЛДС, а бассейн р. Касмалы — только северо-восточную часть Касмалинской ЛДС, тогда как юго-западная ее часть относится к бассейну оз. Горького, в пределах которого протекает другая р. Касмала, имеющая противоположное направление стока. В результате бассейн р. Барнаулки является зонально неоднородным: река, беря начало в подзоне засушливой степи, пересекает подзону умеренно-засушливой степи и впадает в р. Обь в южной лесостепи. Бассейн р. Касмалы целиком расположен в подзоне южной лесостепи.

Модельный участок бассейна р. Касмалы до с. Рогозики, где расположен гидропост, полностью находится в центральной части подзоны южной лесостепи, т.е. примерно на равном удалении от границ смежных подзон. Таким образом, он является репрезентативным для всей южной лесостепи Приобского плато, а величину стока с единицы его площади можно примерно принять таковой для лесостепных частей бассейнов Барнаулки, Кулунды и Бурлы. Исходя из этой особенности была сформулирована первая задача исследования: выявить вклад в общий сток рассматриваемых бассейнов их частей, расположенных в различных подзонах.

На всех четырех реках имеются гидропосты с различными рядами наблюдений: на р. Барнаулке в г. Барнауле — в 1942, 1945–1959 гг.; на р. Касмале в с. Рогозике — с 1940 г.; на р. Кулунде в с. Шимолино — с 1935 г.; на р. Бурле в с. Хабары — с 1932 г. Используем для сравнения данные по среднемесячным расходам воды (база данных ИВЭП СО РАН) для периода наблюдений на р. Барнаулке.

Для решения первой задачи удобно сравнить Касмалу и Барнаулку, имеющие одинаковое направ-

ление течения и гидропосты, расположенные в южной лесостепи. Однако в этих бассейнах наблюдается различное соотношение площадей, занятых увалами и днищами ЛДС. Для бассейна Касмалы характерна большая ширина увалов, в то время как днища ЛДС с ленточными борами примерно одинаковы по ширине в обоих бассейнах. Так, ширина модельного бассейна Касмалы составляет 28,7–32,2 км, а днища Касмалинской ЛДС — 6,5–6,7 км, тогда как для бассейна Барнаулки на смежном участке эти показатели составляют 24,7–26,0 и 6,2–6,9 км соответственно. Отношение днища ЛДС к увалам в бассейне Касмалы 1 : (3,3–4,0), а в бассейне Барнаулки 1 : (2,8–3,0). В результате была сформулирована вторая задача: выявить зависимость между характером годового гидрографа стока рек Приобского плато и соотношением в их бассейнах увалов и днищ ЛДС.

Результаты. В сводке «Ресурсы поверхностных вод СССР» [3] указывается, что бассейн Барнаулки имеет площадь 5690 км², а гидропост был расположен в 2 км от устья. По нашим данным [4], площадь бассейна Барнаулки — 5862,6 км², а его часть ниже гидропоста — 4,7 км². Таким образом, водосбор выше гидропоста — 5857,9 км². Эти расчеты произведены на базе ландшафтной карты бассейна р. Барнаулки (рабочий масштаб 1 : 100000). Согласно [3] площадь бассейна Касмалы до гидропоста — 1650 км², он расположен в 48 км от устья. По нашим расчетам, по топокартам масштаба 1 : 25000 и космоснимкам, площадь этого бассейна до гидропоста составляет 1768,5 км².

Проведем корреляционный анализ величин средних расходов рек Касмалы и Барнаулки на основе коэффициента Пирсона. В данном случае мы рассматриваем календарные, а не гидрологические или балансовые годы, так как иначе период уменьшится на два года, что существенно для выборки из 16 лет. Поскольку реки смежные и сходные по природным условиям, то и колебания расходов должны быть синхронными (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции Пирсона (R) для средних расходов (Q , м³/с) рек Барнаулки и Касмалы в 1942, 1945–1959 гг. по месяцам

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XI–III	IV–VI	VII–X	год
R	0,37	0,48	0,45	0,85	0,72	0,78	0,59	0,55	0,10	0,30	0,43	0,18	0,20	0,90	0,53	0,85
Q_B	0,79	0,80	1,26	18,59	8,49	3,96	2,42	2,19	1,76	1,75	1,59	0,88	1,06	10,35	2,03	3,71
Q_K	0,19	0,17	0,61	16,66	5,25	1,42	0,68	0,48	0,38	0,71	0,80	0,33	0,42	7,77	0,56	2,31
Q_B/Q_K	4,16	4,71	2,07	1,12	1,62	2,79	3,56	4,56	4,63	2,46	1,99	2,67	2,52	1,33	3,63	1,61

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены значения R выше критических при $p < 0,05$; Q_B — средние расходы р. Барнаулки; Q_K — средние расходы р. Касмалы.

Из таблицы 1 следует, что наиболее сильная связь коэффициента корреляции Пирсона и средних расхо-

дов стока наблюдается для апреля, мая и июня. Еще более высокая корреляция наблюдается для средних

расходов трех этих месяцев, которые можно считать временем паводка. На рисунке 1 видно, что пик паводка приходится на апрель, а затем расходы резко падают, но и в июне они в несколько раз превышают

меженные, т.е. вполне правомерно рассматривать его как конец паводка. Таким образом, паводком можно считать апрель – июнь, летне-осенней меженью — июль – октябрь, зимней меженью — ноябрь – март.

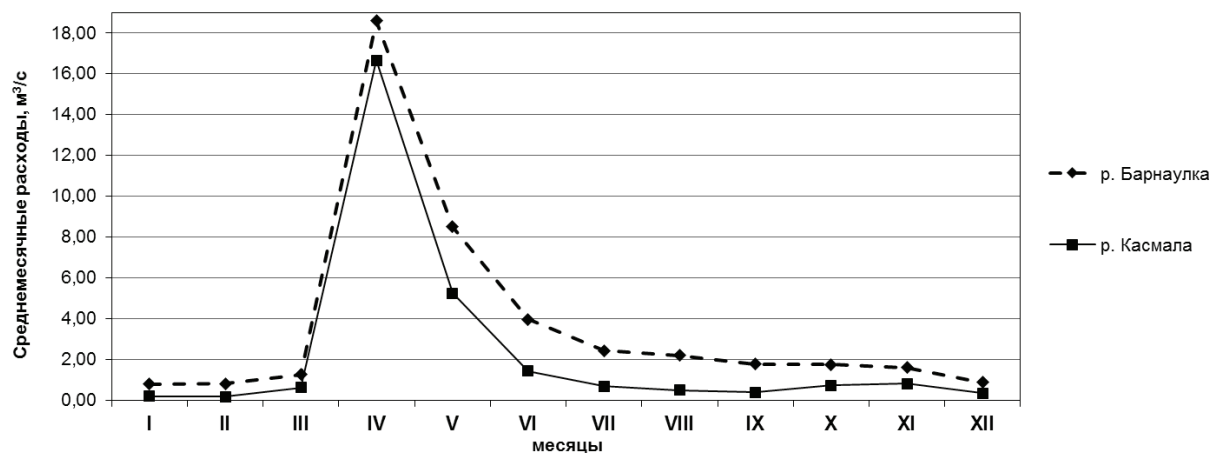


Рис. 1. Среднемесячные расходы воды в реках Барнаулке и Касмале в 1942, 1945–1959 гг.

Интересно сравнение гидрографов Барнаулки и Касмалы (рис. 1, табл. 1, 2), как среднегодового, так и по отдельным годам. Годовые гидрографы этих рек по среднемесячным значениям за период 1942, 1945–1959 гг. коррелируют чрезвычайно

высоко. Все они значимы при $p < 0,05$, а при $p < 0,0005$ исключение составляет только 1942 г. Таким образом, можно констатировать, что годовые гидрографы сравниваемых рек почти идентичны.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Пирсона (R) для годовых гидрографов расходов рек Барнаулки и Касмалы в 1942, 1945–1959 гг., средние расходы за паводок (апрель – июнь) и год

Год	R	Средние расходы за апрель – июнь, м³/с		Среднегодовые расходы, м³/с	
		р. Барнаулка	р. Касмала	р. Барнаулка	р. Касмала
1942	0,78	7,86	5,98	3,91	2,10
1945	0,90	6,88	2,68	2,45	0,84
1946	0,88	5,74	5,96	2,06	1,93
1947	0,97	11,61	11,17	4,16	3,40
1948	0,96	13,09	10,78	4,63	3,18
1949	1,00	13,88	11,06	4,53	2,99
1950	0,96	17,53	11,55	5,89	3,16
1951	0,99	8,15	7,11	2,87	1,94
1952	0,90	3,01	2,56	1,25	0,78
1953	1,00	6,98	5,60	2,37	1,74
1954	0,99	12,45	10,28	4,29	3,07
1955	0,86	12,58	9,03	4,23	2,49
1956	0,94	5,10	4,28	2,19	1,48
1957	1,00	12,21	9,30	3,93	2,70
1958	0,98	19,11	14,01	6,81	3,91
1959	0,96	9,35	3,05	3,71	1,16
Среднее	0,99	10,35	7,77	3,71	2,31

Тем не менее следует указать на крайне важное отличие: меженные расходы Касмалы, как зимние, так и летне-осенние, значительно ниже, чем Барнаулки, тогда как в пик паводка (апрель) они близки (см. табл. 1). Во время зимней межени, когда поверхностный сток с водосбора отсутствует, а питание рек осуществляется грунтовыми водами, расходы Барнаулки значительно выше за счет большей площади ее бассейна и большей доли в нем песчаного дна ЛДС. Кроме того, в верховьях Барнаулки больше крупных озер, которые поддерживают как поверхностный, так и подземный сток. Эти причины обеспечивают более высокие расходы Барнаулки и в летне-осеннюю межень, когда они падают после паводка медленнее, чем расходы Касмалы. Бассейн Барнаулки как более инерционная система собирает воду в болотах и озерах, а затем постепенно отдает ее. Расходы Касмалы в этот период снижаются более стремительно, так как в ее бассейне меньше «резервуары» для хранения воды.

В паводок, наоборот, расходы рек почти совпадают. Это объясняется большей долей водоразделов в бассейне Касмалы, которые быстро отдают воду в паводок, превосходя аккумулятивные возможности дна, но значительно меньше питают реку в межень.

Другое важнейшее отличие заключается в том, что гидрограф Барнаулки — это классическая линия истощения после паводка до нового паводка, тогда как на гидрографе Касмалы наблюдается второй небольшой пик в октябре – ноябре. Он обусловлен повышением увлажнения прежде всего в силу снижения испарения за счет падения температур. Кроме того, в рассматриваемый период по метеостанции Ребриха, расположенной в бассейне Касмалы, наблюдается большее количество осадков в октябре (48,6 мм), чем

в сентябре (35,6 мм). В ноябре расходы Касмалы еще немного повышаются, хотя в этом месяце прекращается поверхностный сток с водосбора, что связано с добеганием грунтовых вод от осенних осадков. В декабре расходы вновь снижаются и далее падают до февраля, а в марте несколько повышаются за счет начала снеготаяния.

Проанализируем слой стока сравниваемых бассейнов. Исходя из среднегодовых значений за рассматриваемый период слой стока бассейна Касмалы — 41,0 мм, а бассейна Барнаулки — 19,9 мм, т.е. более чем в два раза меньше при условии, что он принимается одинаковым по всему бассейну. Однако бассейн р. Барнаулки зонально неоднороден, и в степной его части меньше как осадки, так и сток.

Ранее нами установлено [4], что засушливо-степная часть бассейна Барнаулки имеет площадь 1724,4 км², умеренно-засушливо-степная — 1219,1 км², южно-лесостепная — 2919,1 км². За вычетом территории, находящейся ниже гидропоста, южно-лесостепная часть имеет площадь 2914,4 км².

Из таблицы 3 следует, что весь годовой сток р. Барнаулки может стекать с площади, меньшей, чем его лесостепная часть. Таким образом, вся или подавляющая часть годового стока реки формируется в лесостепи, тогда как в степной части все осадки расходуются на испарение и пополнение подземных вод. Наименьшая площадь расчетного бассейна Барнаулки необходима для расходов паводка, а наибольшая — для межени, во время которой расчетный бассейн может даже превышать реальный. Другими словами, во-первых, регулирующее влияние степной части бассейна р. Барнаулки проявляется в основном во время межени. Во-вторых, явно имеет место перераспределение стока во времени.

Таблица 3

Средние расходы рек Касмалы и Барнаулки, расчетная площадь бассейна Барнаулки при условии, что он является полным аналогом бассейна Касмалы в южной лесостепи Приобского плато

Средний расход, м ³ /с	Бассейны рек		
	р. Касмала, 1768,5 км ²	р. Барнаулка, 5857,9 км ²	расчетный р. Барнаулка, км ²
Год	2,31	3,71	2840,3
Паводок	7,77	10,35	2355,7
Апрель	16,66	18,59	1973,4
Зимняя межень	0,42	1,06	4463,4
Январь – февраль	0,18	0,80	7860,0
Летне-осенняя межень	0,56	2,03	6410,8
Август – сентябрь	0,43	1,98	8143,3

В таблице 4 и на рисунке 2 приводятся соотношения значений стока рек Барнаулки и Касмалы. Только

в апреле относительный объем стока р. Касмалы превосходит таковой р. Барнаулки, в мае они примерно

Репрезентативность модельного бассейна р. Касмалы...

равны, а в остальные месяцы соотношение обратное. В паводок 14,5% годового стока р. Барнаулки по срав-

нению с р. Касмалой задерживается в озерах и болотах ЛДС и медленно расходуется в остальную часть года.

Таблица 4

Соотношение среднего объема стока рек Барнаулки и Касмалы в 1942, 1945–1959 гг. по месяцам года, нормированного к 100%

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XI–III	IV–VI	VII–X	год
W_B	1,8	1,7	2,9	41,3	19,5	8,8	5,5	5,0	3,9	4,0	3,5	2,0	11,9	69,6	18,5	100,0
W_K	0,7	0,6	2,2	59,7	19,4	5,1	2,5	1,8	1,4	2,6	2,9	1,2	7,6	84,1	8,3	100,0
W_B/W_K	2,6	3,0	1,3	0,7	1,0	1,7	2,2	2,9	2,9	1,5	1,2	1,6	1,6	0,8	2,2	1,0

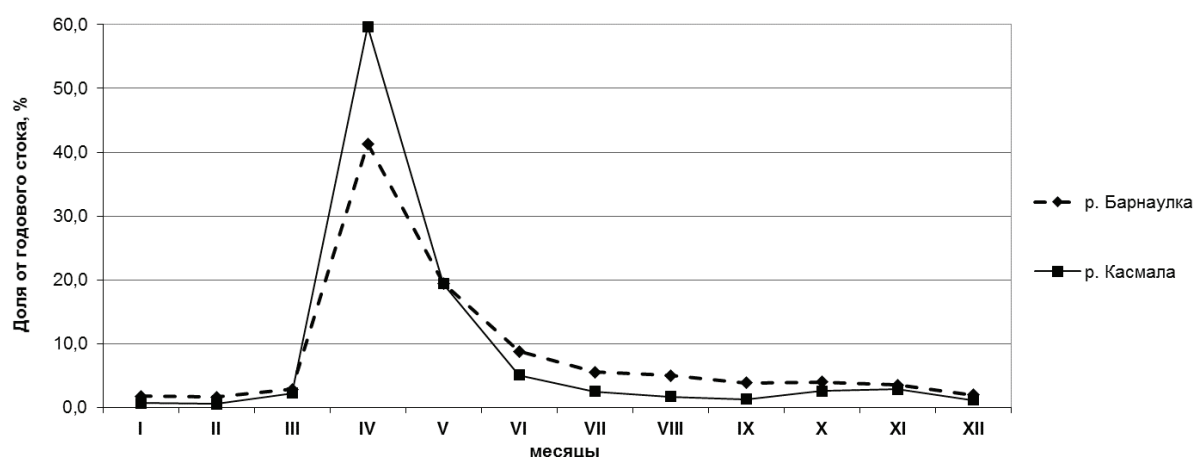


Рис. 2. Соотношения среднего объема стока рек Барнаулки и Касмалы, нормированного к 100%, по месяцам

Из таблицы 5 видно, что в бассейне Барнаулки доля дна ЛДС (псаммофильные и современно-долинные ландшафты) на 5,9% больше, чем в бассейне Касмалы, где, наоборот, больше галогидро-

морфных (на 4,3%) и зонально-водораздельных (на 1,6%). Именно большая доля дна ЛДС обеспечивает р. Барнаулке более низкий относительный паводок и более равномерный сток в течение года.

Таблица 5

Соотношение родов ландшафтов в бассейнах рек Касмалы и Барнаулки

Роды ландшафтов	Бассейн р. Касмалы		Лесостепная часть бассейна р. Барнаулки	
	км ²	%	км ²	%
A — зонально-водораздельные (легкие и средние суглинки)	1137,3	64,3	1830,6	62,7
B — галогидроморфные (супеси)	255,4	14,4	296,0	10,1
C+D — псаммофильные и современно-долинные (пески)	375,7	21,2	792,5	27,1
Всего	1768,5	100,0	2919,1	100,0

В сводке «Ресурсы поверхностных вод СССР» [3] указывается также, что при одинаковой лесистости (20%) бассейнов Барнаулки и Касмалы первый сильнее заболочен (10% против <5%) и заозерен (4% против <1%). Кроме того, у р. Барнаулки меньше средний (0,43 против 0,79) и средневзвешенный (0,35 против 0,82) уклоны. Однако эти данные характеризуют весь бассейн, тогда как вся или подавляющая часть стока формируется в его лесостепной части, где приведенные соотношения выполняются, но различие не столь резкое.

Предполагая, что и в бассейнах Кулунды и Бурлы подавляющая часть стока формируется в лесостепной части их бассейнов, сравним коэффициенты корреляции Пирсона для среднегодовых расходов воды (табл. 6). Все связи статистически значимы и достоверны. В общем, чем дальше расположены реки, тем меньше между ними корреляция.

Связь рек Барнаулки, Касмалы и Кулунды достоверна при исчезающе малой вероятности ошибки ($p < 0,0005$), а наиболее низкая корреляция между расходами рек Барнаулки и Бурлы значима при

$p < 0,01$. У Касмалы связь с Бурлой более сильная ($p < 0,005$). В целом бассейн р. Касмалы при значительно меньших, чем у других сравниваемых бассейнов размерах, имеет значимую и достаточно высокую корреляцию со всеми ими, а следовательно, является

бассейном-аналогом для них. Таким образом, бассейн р. Касмалы — репрезентативный и компактный модельный объект для изучения ландшафтно-гидрологических процессов более крупной вмещающей территории.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции Пирсона для среднегодовых расходов рек в 1942, 1945–1959 гг.

	р. Барнаулка	р. Касмала	р. Кулунда	р. Бурла
р. Барнаулка	1,0000			
р. Касмала	0,8541	1,0000		
р. Кулунда	0,8496	0,8266	1,0000	
р. Бурла	0,6127	0,6529	0,8770	1,0000

Следует отметить, что пары смежных рек, текущих в одном направлении, имеют наиболее высокие коэффициенты корреляции (Кулунда и Бурла, Касмала и Барнаулка). Причем в каждой паре один бассейн полностью (р. Касмала) или почти полностью (р. Бурла) расположен в лесостепи, тогда как второй — в степи и лесостепи (р. Барнаулка и р. Кулунда). Это еще раз подтверждает тот факт, что сток рек Приобского плато формируется в южной лесостепи.

Любопытно, что связь р. Барнаулки с р. Кулундой несколько сильнее, чем таковая последней и смежной с ней р. Касмалой. Более высокая корреляция расходов первых двух рек, несмотря на противоположность направления их течения, вероятно, обусловлена

сходством зонального строения их бассейнов — наличием сопоставимых по площади степной и лесостепной частей.

Выводы

1. Подавляющая часть стока рек Приобского плато формируется в лесостепной его части, поэтому результаты изучения модельного бассейна р. Касмалы в ее пределах могут быть экстраполированы на все бассейны Приобского плато.

2. Характер годового гидрографа стока рек Приобского плато зависит в первую очередь от соотношения в их бассейнах основных геолого-геоморфологических элементов этой территории — увалов и днищ ЛДС.

Библиографический список

1. Алексеевский Н.И., Косицкий А.Г., Носань В.В., Христофоров А.В. Подобие рек и их систем // Водные ресурсы. — 2013. — Т. 40, № 6.
2. Золотов Д.В., Николаева О.П., Черных Д.В. Динамика атмосферного увлажнения западной части Алтайского края как характеристика климато-гидрологического фона // Известия Алт. гос. ун-та. — 2012. — № 3/1 (75).
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). — Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан, Вып. 1 : Верхняя и Средняя Обь / под ред. Е.П. Шурупа. — Л., 1975.
4. Черных Д.В., Золотов Д.В. Пространственная организация ландшафтов бассейна реки Барнаулки / отв. ред. И.Н. Ротанова. — Новосибирск, 2011.