

- L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 247 s. (in Russian)
Matarzin Yu.M. Hidrologiya vodoxranilish [Hydrology of reservoirs]. – Perm: Izd-vo "PGU", 2003. – 296 s. (in Russian)
Nikitin A.M. Vodoxranilisha Sredney Azii [Reservoirs of Central Asia]. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 163 s. (in Russian)
Podrezov O.A. Gornaya klimatologiya i vysotnaya klimaticeskaya zonalnost Kyrgyzstana [Mountain climatology and altitudinal climatic zonality of Kyrgyzstan]. – Bishkek: Izd-vo KRSU, 2014. – 170 s. (in Russian)
Ponomarenko P.N. Atmosfernye osadki Kirgizii [Atmospheric precipitation in Kyrgyzstan]. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 134 s. (in Russian)
Savichev O.G., Krasnoshchekov S.Yu., Nalivaiko N.G. Regulirovanie rechnogo stoka: uchebnoe posobie [River Flow Regulation: A Study Guide] / Tomskiy politexnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politexnicheskogo universiteta, 2009. – 114 s. (in Russian)
Xikmatov F.X., Yunusov G.Kh., Khakimova Z.F., Ziyaev R.R., Erlapasov N.B. Zakonomernosti formirovaniya vodnyx resursov gornyx rek v usloviyax izmeneniya klimata [Patterns of formation of water resources of mountain rivers in the context of climate change]. – Toshkent: "Innovation rivozhlanish nashriyot-matbaa uyi", 2020. – 232 s. (in Russian)
Edelstein K.K. Hidrologiya ozer i vodoxranilish [Hydrology of lakes and reservoirs]. Uchebnik dlya vuzov. – M.: Izd-vo "Pero", 2014. – 399 s. (in Russian)
Khikmatov F.Kh., Rapikov B.R. To'xtag'ul suv omborining energetik rejimga o'tkazilishi va bu jarayon bilan bog'liq bo'lgan muammolar [Transfer of Tokhtagul reservoir to energy mode and problems related to this process] ilmiy-texnik jurnali "O'zbekgidroenergetika", 2-son. – Toshkent, 2021. – B. 36-38. (in Uzbek)
Khikmatov F.Kh., Sirliboeva Z.S., Aitbaev D.P. Ko'llar va suv omborlari geografiyasi, gidrologik xususiyatlari [Geography of lakes and reservoirs, hydrological characteristics] – Toshkent: Universitet, 2000. – 122 s. (in Uzbek)
Khikmatov F.Kh., Haydarov S.A., Halimova G.S., Ziyayev R.R., Rapikov B.R. Ko'lshunoslik [Lake science limnology]. Darslik. – Toshkent: "Innovation rivozhlanish nashriyot-matbaa uyi", 2021. – 216 s. (in Uzbek)

УДК: 551.48(551.482)

О РОЛИ ИСПАРЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ В СУТОЧНОМ ХОДЕ СТОКА МАЛЫХ РЕК

Б.А. КАМАЛОВ^{1*}

¹ Наманганский государственный университет, kamolov-1942@inbox.ru

Аннотация. Как известно, суточный ход стока малых рек обычно связывают изменением интенсивности таяния снега и льда в результате колебаний температуры воздуха в течение суток. Однако на малых горных реках суточный ход наблюдается поздним летом, когда в их водосборах уже давно стаяли последние снежники. Такое явление одни ученые объясняли наличием вечной мерзлоты, другие – испарением с водной поверхности водотоков. В статье, в результате анализа лимниграмм уровня воды малых горных рек за различные периоды, отмечается значимость испарения с их водной поверхности и конденсации в формировании суточного хода в их стоке. При этом в низкоречных реках вечерний минимум суточного хода образуется в результате испарения, а максимум в первой половине дня – ночной и утренней конденсацией. В более крупных реках такой суточный ход может быть сдвинут на более поздние

* Ответственный автор: kamolov-1942@inbox.ru, тел.: +998 93 546-01-31

сроки. На р. Головная этот сдвиг составил полсутки, с минимумом к полудню и максимумом к концу дня.

Ключевые слова: суточный ход стока, испарение, подземные воды, конденсация, температура воздуха, интенсивность таяния, инфильтрация.

Введение. Листая старые номера журнала «Метеорология и гидрология» и трудов гидрометеорологических институтов, нередко можно встретить статьи, в которых изложены проблемы, нерешенные окончательно до настоящего времени. К ним можно отнести статью известного гидрометеоролога Средней Азии Е.М.Козика «Мерзлота в верховьях горных рек и ее роль в суточных колебаниях расходов воды» [Козик, 1964]. Ее обсуждение продолжается до настоящего времени [Материалы..., 1973; Машуков, 1968; Kamalov, Abduraxmonov, 2016].

Наблюдения, проведенные на малых горных реках в различных регионах, показывают наличие суточного хода уровня и расхода воды в них, чего всегда связывали изменением интенсивности таяния снега и льда, связанного с колебанием температуры воздуха в течение суток. Однако, такие случаи нередко обнаруживаются поздним летом и осенью, спустя месяцы после полного стаивания всех снежников в соответствующем бассейне. Е.М.Козик это объяснил наличием и таянием мерзлых грунтов в высокогорной части водосборов рек, которых он обнаружил в верховьях р. Головная в бассейне р. Кызылча – притока второго порядка р. Ахангаран. П.М.Машуков считает такое объяснение недостаточным, так как суточный ход в августе и сентябре наблюдается не только в высокогорной речке Головная, но и в низкогорной речке Четыксай, в водосборе которого нет и не может быть мерзлоты. Он такой суточный ход считает результатом испарения с поверхности русловых потоков и проточных мочажин [Машуков, 1968].

Однако и такое объяснение нельзя принять безоговорочно, поскольку не соответствует времени добегания. Например, на р. Головная, как отмечает П.М.Машуков, минимум уровня воды по времени наступает на одни сутки позже, чем максимум суточного хода температуры воздуха, т.е. с задержкой на одни сутки, что слишком много при скорости добегания 5 км/час, отмеченной самим автором.

Кроме того, резонен вопрос, может ли только испарение создать заметный на лимниграмме суточный ход? Площадь водной поверхности всех русел р. Головная по определениям П.М.Машукова составляет 15600 м². Среднее испарение в августе на центральной метеорологической площадке, расположенной на высоте 2075 м н.у.м., в бассейне р. Кызылча, составило в августе 6,6 мм/сутки. Если принять испарение по всему водосбору реки Головная 4 мм/сутки, то это даёт объём испарения 62,4 м³, который при делении на число секунд в дневное время даёт всего 1,2 л/сек, что не может существенно влиять на суточный гидрограф со средним стоком 150 л/сек. Отсюда напрашивается вывод о том, что суточный ход стока этих рек в конце лета и осенью формируется не только испарением с поверхности воды рек. Здесь возможно, чувствительна роль в конденсации.

Целью исследования является уточнения факторов, формирующих суточный ход стока малых рек.

Объектом исследования является суточный ход стока малых рек, а **предмет** – исследование его изменений.

Анализ материалов наблюдений. Для изучения поставленного вопроса, нами использованы лимниграммы суточного хода стока рек горностокковой станции Кызылча в бассейне реки Ахангаран (рис. 1).

Характеристики водосборов рек Четыксай и Головная таковы: площади водосборов, соответственно, составляют 7,7 км² и 10,3 км², средняя их высота – 1880 м и 2730 м, средний расход воды за период апрель-август 0,10 и 0,33 м³/сек [Материалы...,

Этого нельзя сказать по р. Головной; здесь спад уровня воды, начавшийся к концу дня, после полудня следующего дня сменяется более резким кратковременным подъемом. Иными словами, минимум уровня воды отмечается к середине дня, а максимум – в конце. Это особенно ярко проявляется на лимниграммах за 6-8 июня и 10-15 июля. Такой суточный ход соответствует весеннему суточному ходу стока р. Четыксай, но противоположен летнему.

На р. Головная суточный ход уровня воды начинает проявляться в марте – на месяц позже, чем на р. Четыксай. 1-5 мая в водосборе р. Головная наблюдалась прохладная погода, что способствовало исчезновению суточного хода с некоторым понижением уровня воды. 21 мая метеостанции бассейна р. Кызылча отметили самые высокие за май среднесуточные температуры воздуха (14,4-18,5 °С). Это привело к усилению таяния выше снеговой границы и появлению суточного хода в стоке р. Головной, который прекратился 22 мая из-за похолодания.

Такая же ситуация наблюдалась 5 – 8 июня. В эти дни среднесуточная температура воздуха резко поднялась и имела следующие значения (табл.1.).

Таблица 1

Среднесуточная температура в июне на метеостанциях бассейна р. Кызылча

Table 1

Average daily temperature in June at the meteostations of the Kyzylcha river basin

Дата	Метеостанции		
	Кызылча	Головная	Четыксай
5 июня	13,9	18,4	18,6
6 июня	16,0	20,1	20,6
7 июня	18,2	21,7	22,0
8 июня	17,3	19,5	20,6

В результате площадь таяния выше снеговой границы резко увеличилась, что привело к суточному ходу стока с наибольшей амплитудой за летний период.

Здесь следует отметить то, что резкое потепление 6 июня в этот же день сказалось в суточном ходе стока р. Головная. Это противоречит допущению П.М.Машукова о возможном сдвиге минимума в суточном ходе стока на сутки, по сравнению с максимумом температуры воздуха, определяющей величину испарения. Здесь можно говорить только о том, что дневное таяние вызвало подъем уровня воды к вечеру.

10-15 июля суточный ход имеет почти стационарный характер, что указывает на его обусловленность, главным образом, интенсивностью таяния. 20-25 сентября на лимниграммах суточного хода стока почти не видно. Суточный же ход с 28 октября по 2 ноября стал результатом таяния большого снега, выпавшего 23-25 октября.

Следует отметить то, что П.М.Машуков свой вывод о сдвиге суточного хода уровня воды в речках по сравнению с максимумом температуры воздуха, определяющей величину испарения, сделал на основе данных по более высокогорной речке Головная. На речке же Четыксай, с более низкой высотой водосбора в летние дни с наиболее правильным суточным ходом, снижение уровня воды начинается в конце первой половины дня и минимум уровня наблюдается в 19 часов, т.е. тогда, когда на р. Головной отмечается максимум уровня воды.

Как известно, главными источниками формирования подземного питания рек могут быть инфильтрация атмосферных осадков, конденсация водяных паров, поступающих из приземного слоя воздуха и приток влаги из грунтовых вод. Однако, по поводу конденсации водяных паров в научной литературе имеются различные точки зрения, отвергающие друг друга, хотя с античных времен водяной пар считали источником

подземных вод. Подробный обзор истории проблемы дан в монографиях А.Ф.Лебедева [Лебедев, 1936], А.А.Роде [Роде, 1978] и др. Роль конденсации и адсорбции в формировании почвенной влаги имеет мощное подтверждение в «висячих садах Семирамиды», в водоснабжении г. Феодосия в Крыму, многочисленных экспериментах по изучению конденсации влаги в песках и более грубых материалах, в суглинистых и глинистых почвах. Ради справедливости надо отметить, что эти эксперименты порою давали незначительный эффект. В противоположность этому большое впечатление производят конденсаторы атмосферной влаги, снабжавших г. Феодосию питьевой водой в XIII-XIX веках, которые являются мощным аргументом для разработки способов использования конденсации влаги воздуха в хозяйственных целях. Согласно Б.А.Аполлова, в ноябре 1903 г. Ф.И.Зибольд, после четырехмесячного периода засухи, измерил сток воды из двух Феодосийских труб, идущих от конденсаторов, установленных на горе. Из одной трубы сток составил 1400 м³/сутки, из другой – 720 м³/сутки [Аполлов, 1963].

О роли конденсации и адсорбции в формировании почвенной влаги можно судить и по таблице, где приведены данные о влажности почвы в начале вегетации и сумме осадков по метеостанции Наманган за период октябрь-март (табл. 2).

Таблица 2

**Влажность почвы на начало вегетации и сумма осадков за октябрь-март, мм
[Kamalov, Abduraxmonov, 2016]**

Table 2

**Soil moisture at the beginning of the growing season and
rainfall in October-March, mm [Kamalov, Abduraxmonov, 2016]**

Годы	Влажность	Осадки (X-III)	Конденсация
2001	178	99,7	78,3
2002	176	134,5	41,5
2003	186	204,8	-18,8
2004	192	253,2	-61,2
2005	181	208,4	-27,4
2006	196	101,5	94,5
2007	197	148,2	48,8
2008	176	78,2	97,8
2009	210	150,4	59,6
2010	173	135,4	37,6
2011	200	76,2	123,8
2012	193	189,7	3,3
2013	193	111,6	81,4
2014	199	103,5	95,5
2015	180	134,8	45,2

Как видно из таблицы, в большинстве случаев влажность почвы значительно превышает сумму осадков за октябрь-март, что указывает на наличие какого-то другого источника поступления влаги в почву. Такими источниками могут быть капиллярные воды. Однако, для условий Узбекистана практически ощутимая высота капиллярного поднятия воды не превышает 2 м [Бабушкин, 2004]. В агрогидрологии считается, что высота капиллярного поднятия не выходит за пределы 3 м [Роде, 1963]. Тогда остается только один источник дополнительного поступления влаги – конденсация (и адсорбция) атмосферной влаги в почве. Разницу между влажностью почвы и суммой осадков за

период октябрь-март можно принять за величину конденсации.

Что касается случаев большего количества осадков, чем влага в почве, можно отметить повышенную интенсивность осадков в 2003-2005 гг. Как известно, при интенсивности дождя менее 0,5 мм/мин на пару инфильтрация не наблюдается, все испаряется, а на пашне инфильтрация составляет 55%; при интенсивности 0,75 мм/мин и на пару и на пашне -70-80%, при 1,0 мм/мин соответственно 19 и 29%, при 1,5 мм/мин – 15 и 28%, при 2,0 мм/мин – 12 и 22% [Роде, 1963]. Значит можно считать, что повышенная интенсивность осадков в эти годы способствовала увеличению поверхностного стока, ограничив инфильтрацию в почву.

Однако, конденсационный рост влаги в почве, из-за малой скорости ее передвижения, не может служить явной причиной суточного хода летнего стока горных рек. Но он подтверждает значимую роль конденсации в формировании стока рек, особенно рек, водосборы которых сложены рыхлообломочными и легко растворимыми породами, в телах которых создаются множество пустот. Именно такое геологическое строение имеет водосбор реки Кызылча. Здесь порфириды и метаморфизованные известняки среднего карбона имеют мощность до 2000 м. В южной части водосбора – в бассейнах рек Четыксай и Кутырбулак развиты верхнекарбоновые порфиры и порфириды мощностью до 700 м, сланцы, известняки, конгломераты, песчаники и др. Поэтому в бассейне р. Кызылча большое распространение имеют подземные воды различного типа – трещинного, трещинно-карстового и др. Они выходят на поверхность в виде многочисленных родников. По данным гидрогеологической съемки 1958 г., здесь имеются более 100 родников с расходами до 70 л/сек [Материалы..., 1973]. К сожалению ни на одном из них наблюдений за суточным ходом дебита не велось.

Среди притоков р. Кызылча особенно богат родниками водосбор р. Кутырбулак, где они на пологих местах образуют болотца. Однако и здесь не велось регулярные внутрисуточные наблюдения за уровнем воды. Данные наблюдений имеются только за весенний период – март и апрель 1961 г. В 1964 г. измерения проводились в большинстве случаев 1 раз в сутки. Только 2 дня – 5 июля и 1 августа уровень воды в реке измерялся 3 раза: 5 июля в 16.00 – 264 л/сек, 18.00 – 302 л/сек и 24.00 – 293 л/сек, 1 августа в 17.00 – 314 л/сек, 19.30 – 436 л/сек и 24.00 – 341 л/сек. Осадков в эти дни не было, снег в бассейне отсутствовал, а суточный ход явный.

Здесь также следует отметить наличие суточного хода в дебите источников. Например, дебит источника в Кучуккойсайском районе Крыма имел следующие величины в л/с [Худяев, Колотильщикова, 1934]:

23.X.1931 г. в 7.00 – 0,099, 16.00 – 0,070, 21.00 – 0,095;

24.X.1931 г. в 8.00 – 0,092, 20.00 – 0,096;

25.X.1931 г. в 13.00 – 0,082, 17.00 – 0,089.

Как видно, и в дебите источников суточный ход явно проявляется.

И так, можно **заключить**, что в формировании суточного хода стока малых горных рек, в период отсутствия снега и ледника в их бассейне, значима роль конденсации влаги в грунте и пустотах водосбора. При этом в низкогорных реках вечерний минимум суточного хода образуется в результате испарения, а максимум в первой половине дня – ночной и утренней конденсацией. В более крупных реках такой суточный ход может быть сдвинут на более поздние сроки. На р. Головная этот сдвиг составил полсутки, с минимумом к полудню и максимумом к концу дня.

В заключении отмечу, что эту статью посвящаю светлой памяти известных гидрометеорологов Средней Азии – Петра Михайловича Машукова и Евгения Михайловича Козика.

ЛИТЕРАТУРА

- Аполлов Б.А.* Учение о реках. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 423 с.
- Бабушкин Л.Н.* Основы агрометеорологии в Узбекистане. – Ташкент: Узгидромет, 2004. – 288 с.
- Козик Е.М.* Мерзлота в верховьях горных рек и ее роль в суточных колебаниях расходов воды // Метеорология и гидрология. – №7. – 1964. – С. 20-21.
- Лебедев А.Ф.* Почвенные и грунтовые воды. – М. – Л.: Изд-во. АН СССР, 1936.
- Материалы наблюдений горностокковой станции Кызылча. – Ташкент: Узгидромет, 1973. – Вып. 1, кн 2. – 237 с.
- Машуков П.М.* Суточный ход уровня на малых горных реках как новый источник гидрологической информации // Тр. САНИГМИ. – Вып. 32(47), 1968. – С. 34-41.
- Роде А.А.* Водный режим почв и его регулирование. – М.: Изд-во. АН СССР, 1963. – 112 с.
- Роде А.А.* Вопросы водного режима почв. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 213 с.
- Худяев И.Е., Колотильщикова В.К.* Заметка об опытах по изучению конденсации влаги в известняковых наносах южного берега Крыма / Материалы Центрального н.-и. геолого-разведочного института. Сб. 4. Работы Крымской оползневой станции. – Л.: ОНТИ-НКТП, 1934. – С. 53-56.
- Kamalov B.A., Abduraxmonov S.T.* On the formation of soil moisture // European Science Review. – № 11. – 2016. – P. 34-36.

КИЧИК ДАРЁЛАР ОҚИМИНИНГ СУТКАЛИК ЎЗГАРИШИДА БУҒЛАНИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯНИНГ РОЛИ ҲАҚИДА

Б.А. КАМАЛОВ¹

¹ Наманган давлат университети, камалов-1942@инбох.ру

Аннотация. Маълумки, кичик тоғ дарёлари оқими миқдорининг сутка давомида ўзгариши кун давомида ҳаво ҳароратининг ўзгариши натижасида қор ва муз эриши жадаллигининг ўзгариши билан боғлиқ. Бироқ, кичик тоғ дарёларида сув оқимининг сутка давомида ўзгариши уларнинг сув тўплаш ҳавзаларидаги қор қопламаниннг ёз охирига бориб бутунлай эриб кетгандан кейинги даврларида ҳам қузатилади. Баъзи тадқиқотчилар бу ҳодисани абадий музлоқ ерлар мавжудлиги, бошқалари – дарё суви юзасидан буғланиши билан изоҳлайди. Мақолада турли даврлар учун кичик тоғ дарёлари сув сатҳининг лимниграммаларини таҳлил қилиш асосида улар оқими кунлик ўзгаришининг шаклланиши дарё ўзанидаги сув юзасидан буғланиши ва ер ости бўшлиқларидаги конденсация натижасида юз бериши кўрсатилган. Шу билан бирга, паст тоғ дарёларида суткалик ўзгаришларнинг кечки минимуми буғланиши натижасида, максимуми эса куннинг биринчи ярмида тунги ва эрталабки конденсация натижасида ҳосил бўлади. Каттароқ дарёларда бу кунлик ўзгариши кейинги соатларга сурилиши мумкин. Головная дарёсида бундай сурилиши ярим суткани ташкил этиб, унинг минимум қиймати куннинг ярмигача, максимуми эса куннинг охирида қузатилади.

Калит сўзлар: оқимнинг сутка давомида ўзгариши, буғланиши, ер ости сувлари, конденсация, ҳаво ҳарорати, эриши жадаллиги, инфильтрация.

**ON THE ROLE OF EVAPORATION AND CONDENSATION
IN THE DAILY FLOW OF SMALL RIVERS****B.A. KAMALOV¹**¹ Namangan State University, kamolov-1942@inbox.ru

Abstract. *As is known, the daily runoff of small rivers is usually associated with a change in the intensity of melting of snow and ice as a result of fluctuations in air temperature during the day. However, on small mountain rivers, the diurnal variation is observed in late summer, when the last snowfields have long melted in their catchments. Some researchers explained this phenomenon by the presence of permafrost, others – by evaporation from the water surface of streams. In the article, as a result of the analysis of the limnograms of the water level of small mountain rivers for different periods, the importance of condensation in the formation of the daily variation in their flow is noted. At the same time, in low-mountain rivers, the evening minimum of the daily cycle is formed as a result of evaporation, and the maximum in the first half of the day is formed by night and morning condensation. In larger rivers, this daily variation can be shifted to a later date. On the river Golovnaya the head shift was half a day, with a minimum by noon and a maximum by the end of the day.*

Keywords: *daily runoff, evaporation, groundwater, condensation, air temperature, thawing rate, infiltration.*

REFERENCES

- Apollov B.A.* Uchenie o rekax [Teaching about rivers]. – M.: Izd-vo MGU, 1963. – 423 s. (in Russian)
- Babushkin L.N.* Osnovy agrometeorologii v Uzbekistane [Fundamentals of agrometeorology in Uzbekistan]. – Tashkent: Uzgidromet, 2004. – 288 s. (in Russian)
- Kozik Ye.M.* Merzlota v verxovyax gornyx rek i yego rol v sutochnyx kolebaniyax rasxodov vody. [Permafrost in the upper reaches of mountain rivers and its role in daily fluctuations in water consumption] // *Meteorologiya i gidrologiya.* – №7. – 1964. – S. 20-21. (in Russian)
- Lebedev A.F.* Pochvennyye i gruntovye vody [Soil water and groundwater]. – M. – L.: Izd-vo AN SSSR, 1936. (in Russian)
- Materialy nablyudeniya gornostokovoy stantsii Kyzylcha* [Materials of observations of mountain runoff station Kyzylcha]. – Tashkent: Uzgidromet, 1973.– Vyp. 1, kn 2. – 237 s. (in Uzbek)
- Mashukov P.M.* Sutochniy xod urovnya na malyx gornyx rekax kak noviy istochnik gidrologicheskoy informatsii. [Daily Level Variation in Small Mountain Rivers as a New Source of Hydrological Information] // *Tr. SANIGMI.*– Vyp. 32(47), 1968. –S. 34-41. (in Russian)
- Rode A.A.* Vodniy rejim pochv i yego regulirovanie [Soil water regime and its regulation]. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. – 112 s. (in Russian)
- Rode A.A.* Voprosy vodnogo rejima pochv [Questions of the water regime of soils]. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. –213 s. (in Russian).
- Xudyaev I.E., Kolotilshikova V.K.* Zametka ob opytax po izucheniyu kondensatsii vlagi v izvestnyakovyx nanosax yujnogo berega Kryma [A note on experiments on the study of moisture condensation in limestone deposits of the southern coast of Crimea] // *Materialy Tsentralnogo n.-i. geologo-razvedochnogo instituta. Sb. 4. Raboty Krymskoy opolznevoy stantsii.* – L.: ONTI-NKTP, 1934. – S. 53-56. (in Russian)