

*Е. П. Каюкова*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. БОДРАК, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)\***

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Выполнена оценка отдельных элементов водного баланса на водосборе малой реки. На основе гидрохимических данных предложено построение водного баланса бассейна реки Бодрак (северо-западные склоны Крымских гор). При расчете приходной статьи атмосферных осадков использованы данные метеостанции пос. Почтовый, при этом вводилась поправка на вертикальную зональность. Оценка конденсационного стока сделана по многолетним наблюдениям за разгрузкой источников в меженный период. Оценка испарения выполнена несколькими расчетными методами, рекомендуемыми в специальной литературе. Библиогр. 19 назв. Ил. 3.

*Ключевые слова:* Горный Крым, подземные воды, область активного водообмена, водный баланс.

*Е. P. Kayukova*

## **USING HYDROCHEMICAL DATA TO ESTIMATE THE COMPONENTS OF THE WATER BALANCE (THE BODRAK RIVER BASIN, SOUTH-WESTERN CRIMEA)**

St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The assessment of the individual elements of the water balance in the catchment area of a small river was made. The water balance equation of Bodrak Basin (north-western slopes of the Crimean Mountains) based on hydro-chemical data was proposed. When calculating the incoming articles of precipitation the authors used data of the weather station located in the village Pochtovie. The corrections to the vertical zoning were inputted when calculating. Estimation of the condensation flow was based on long-term observations of the karst spring during the low-flow period. Estimations of evaporation were based on the calculation methods, recommended in the special publications. Refs 19. Figs 3.

*Keywords:* Crimean Mountains, the zone of active water exchange, underground water, the water balance.

Количественная оценка отдельных элементов водного баланса территории представляет собой довольно трудоемкую задачу, которая в настоящее время решается достаточно приближенно. Для современных методов определения элементов водного баланса, как правило, необходим большой объем метеорологических, гидрологических, гидрогеологических данных, что связано с определенными трудностями и материальными затратами на проведение трудоемких дорогостоящих полевых работ и для малых рек редко оправдано. Предложенный в исследовании метод оценки элементов водного баланса бассейна малой реки, протекающей на территории с недостаточным увлажнением, опирается на минимум стандартной информации.

---

\* Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта № 15-37-10100.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

## Район исследования

Район исследования располагается в крымском предгорье на северо-западных склонах Крымских гор (рис. 1). Климат территории умеренно континентальный [1]. Небольшие реки северо-западных склонов (Черная, Бельбек, Кача, Альма), среднегодовые расходы которых составляют 1–3 м<sup>3</sup>/с, берут начало в западной части Крымских гор и впадают в Черное море в районе Севастополя. Летом они обычно пересыхают и до моря не доходят. Дождевые осадки — их основной источник питания.



Рис. 1. Район исследования

Река Бодрак — левый приток р. Альмы, истоки которой берут начало на северо-западных склонах Главной гряды, формируется и протекает в пределах Бахчисарайского района, пронося свои воды мимо населенных пунктов д. Трудолюбовка и пос. Скалистое до пос. Новопавловка, где и впадает в р. Альма, уносящую свои воды к Черному морю.

В геоморфологическом отношении бассейн р. Бодрак располагается в пределах Второй (500–738 м над ур. м.) и Третьей (200–350 м над ур. м.) предгорных гряд Горного Крыма и изрезанного овражно-балочной сетью Южного эрозионно-денудационного межгрядового понижения, сложенного верхнетриасово-нижнеюрскими дислоцированными флишевыми и вулканогенно-осадочными среднеюрскими отложениями. Заложение долины р. Бодрак происходило преимущественно по зонам трещиноватости и тектонических нарушений. Истоки реки формируются на юго-западных склонах хребта Азарпсырт (560 м над ур. м.) и северных склонах г. Вольская (486 м над ур. м.); падение реки — около 230 м (рис. 2).

Предгорья образованы слабодислоцированными карбонатными породами мел-палеоген-неогенового возраста с куэстовым рельефом, расчлененными речными долинами, оврагами и балками. Река Бодрак прорезает Вторую, а затем и Третью гряду, образуя неширокий каньон.

Атмосферные осадки являются основным источником питания подземных и поверхностных вод бассейна р. Бодрак и определяют их динамический и гидрохимический режимы. Здесь развиты преимущественно пресные подземные воды,

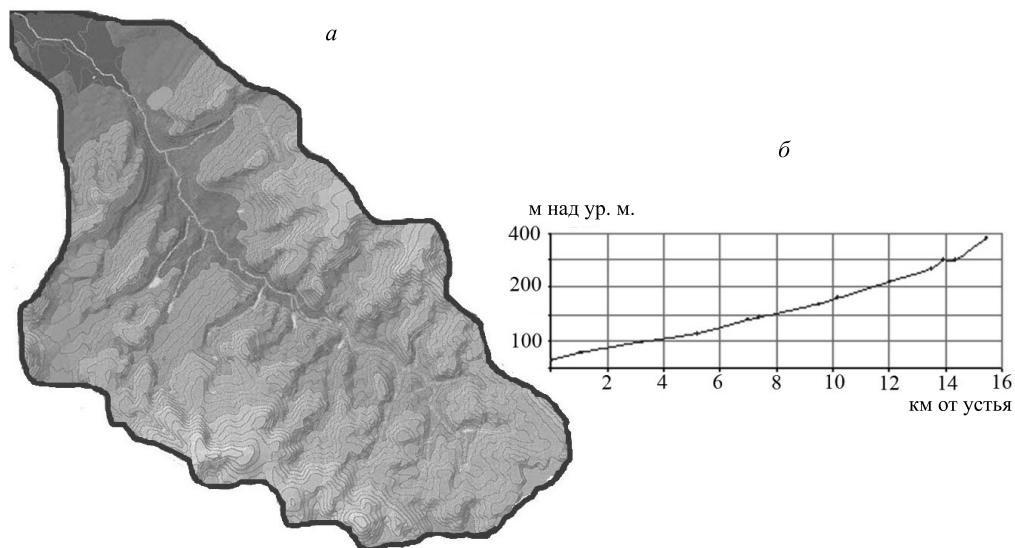


Рис. 2. Водосборный бассейн реки Бодрак (а) и продольный профиль речного русла (б)

приуроченные к аллювиальным и пролювиальным четвертичным отложениям, ко-рам выветривания отдельных пород мезозоя и кайнозоя.

### Общие сведения

Понятие водного баланса сводится к количественному выражению процесса климатического круговорота воды. Для определения водного баланса речного бассейна и его составляющих широко используется уравнение, которое в общем виде сформулировано еще А.И.Воейковым (1884), позднее представлено А.Пенком (1896) как трехчленное математическое выражение круговорота воды, уточненное и обобщенное Е.В.Оппоковым (1904), разрабатывалось Б.И.Куделиным (1949), М.И.Львовичем (1974) и др. Выражение Пенка—Оппокова за среднесноголетний период представляет собой простое уравнение водного баланса речного бассейна:

$$Y = P - E, \quad (1)$$

где речной сток ( $Y$ ) выступает как разность осадков ( $P$ ) и испарения ( $E$ ).

Уравнение (1) широко использовалось в практических целях для косвенной оценки подземного стока, поскольку метеорологические наблюдения территорий шли далеко впереди гидрологических наблюдений за речным стоком. В начале XX в. появилась масса расчетных и эмпирических зависимостей речного стока от метеорологических факторов и морфометрических характеристик водосборов. Однако далеко не всегда находились достаточно надежные зависимости [2]. Большое влияние на сток оказывают ландшафтные условия (почвы, лесистость, закарстованность, озерность, несовпадения поверхностного и подземного водосборов и т. п.), а их не просто учитывать.

Применительно к бассейну р. Бодрак (границы участка — водоразделы, формирующие водосборную площадь, и нижний створ, расположенный у впадения в р. Альму) построим уравнение

$$P + Z + T = h + W + E \pm \Delta U.$$

*Приходная часть:*

$P$  — атмосферные осадки, на поверхности речного бассейна;

$Z$  — конденсация водяного пара;  $T$  — подземный приток.

*Расходная часть:*

$h$  — поверхностный (паводочный) сток;

$W$  — подземный (устойчивый) речной сток;

$E$  — суммарное испарение с водосборного бассейна.

*Изменение влагозапасов на водосборе, погрешности измерений:  $\pm \Delta U$ .*

В засушливые годы общий объем подземной и наземной влаги меньше, чем во влажные годы, поэтому расход превышает приход на величину  $U$ , а во влажные годы происходит обратное явление.

Для многолетнего периода (при  $U \rightarrow \infty$ ) уравнение водного баланса (при совпадении подземного и поверхностного водоразделов) имеет вид

$$P_o = Y_o + E_o,$$

где  $Y_o = h + W$ .

## Результаты и обсуждение

### Осадки ( $P$ )

Атмосферные осадки — основной элемент приходной части уравнения водного баланса. Несмотря на то что большее количество атмосферных осадков на изучаемой территории выпадает в теплый период, эффективные осадки (идущие на питание подземных вод) выпадают в холодный период. Это объясняется тем, что характерные для летнего периода ливневые осадки дают стоковый эффект (они почти не идут на пополнение запасов подземных вод), кратковременные дожди расходуются главным образом на испарение, а вот обложные затяжные дожди холодного периода, напротив, идут на формирование подземного стока.

Началом гидрологического года можно считать 1 октября (когда запасы влаги минимальны). С октября по март коэффициент увлажнения территории бассейна  $\geq 1$ . Осадки этого периода можно считать эффективными (т.е. формирующими подземный сток) [1]. В начале сезона осадков (октябрь-ноябрь) все выпавшие осадки уходят на первичное увлажнение поверхности водосбора и испарение (малые количества осадков полностью испаряются). Такое распределение осадков предопределяет увеличение доли подземного питания реки в холодный период.

Средний слой осадков на водосборе (мм слоя) рассчитывался как средневзвешенное значение из слоев осадков по отдельным высотным зонам:

$$X_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n X_i f_i / F,$$

где  $X_i$  — средние осадки отдельной высотной зоны (мм);  $F$  — площадь водосборного бассейна (км<sup>2</sup>);  $f_i$  — площадь высотной зоны (км<sup>2</sup>).

В нашем расчете использованы данные о количествах атмосферных осадков метеостанции пос. Почтовый [3] с учетом вертикальной зональности.

Рассчитанные с использованием ГИС-технологий отдельные водосборные площади и другие морфометрические характеристики бассейна р. Бодрак приведены в опубликованной статье [4], посвященной оценке подземного стока.

### *Испарение (E)*

Испарение — один из важнейших расходных элементов воднобалансовых расчетов, зависит от климатических условий территории (количества выпадающих осадков, радиационного баланса и т. п.). Суммарное испарение включает испарение с почвы и открытой воды, транспирацию листьями различной растительности, испарение влаги, задержанной кронами деревьев при выпадении осадков.

Для оценки суммарного испарения мы использовали несколько расчетных методов, основанных на данных массовых метеонаблюдений (температура, влажность воздуха, скорость ветра, облачность, продолжительность солнечного сияния). Все они имеют разную точность, каждый из методов имеет свои недостатки и свои достоинства; при их использовании следует проявлять известную осторожность.

Значения суммарного испарения (мм), полученные для водосборного бассейна р. Бодрак (при средней высоте водосбора 380 м):

метод Ольдекопа [5]	565;
метод Шрайберга [6]	485;
метод Тюрка [7]	414;
метод Кузина [8]	585;
метод Полякова [9]	455;
метод Будыко [10]	600;
метод Мезенцева [11, 12]	568.

Мы не приводим подробный расчет, даем лишь ссылку на источник — использованные методы широко освещены в современной литературе. В итоге суммарное испарение с поверхности водосбора р. Бодрак оценено как 530 мм для средней высоты водосбора 380 м.

Следует отметить, что полученные значения суммарного испарения оказались несколько выше данных, представленных в монографии [13], в которой для Бельбекско-Салгирского района испарение варьирует в диапазоне 400–450 мм.

### *Конденсация (Z)*

В подземных пустотах карстующихся и других отложений, в пределах расчлененного рельефа из туманов и росы происходит конденсация влаги, которая образуя конденсационный сток, идет на питание подземных вод. В связи со сложностью и трудоемкостью количественного определения конденсации при балансовых расчетах многие исследователи считают, что учитывать ее нецелесообразно. Однако при составлении водного баланса небольших речных бассейнов роль конденсации (особенно при наличии в разрезе карбонатных пород) может оказаться весьма ощутимой.

О карстовых явлениях Крыма существует достаточное количество публикаций, свидетельствующих о значительной роли конденсации в формировании об-

щего стока в Горном Крыму. Наличие процессов конденсации на изучаемой территории подтверждает ряд малобитных, но постоянно действующих источников, расположенных на г. Патиль, в зоне отдыха (родник Афениз), у «Домика лесника».

Известно, что лучшие условия для конденсации соответствуют периодам с большими суточными колебаниями температуры воздуха и почвы. На изучаемой территории максимальный перепад температур наблюдается в июле (особенно при длительных периодах жары) [1]. На конденсационный сток также влияет объем зоны конденсации.

Ниже приведены данные оценки конденсационного стока Внутренней гряды Крымских гор, выполненной Б. А. Вахрушевым с использованием формулы В. Н. Оболенского [14]:

площадь, км <sup>2</sup>	293,0;
объем зоны конденсации, км <sup>3</sup>	8,8;
конденсационный сток, мм	11;
% от атмосферных осадков	2,0.

В бассейне р. Бодрак полого наклонные верхнемеловые и палеогеновые известняки и мергели, формирующие Внутреннюю гряду, занимают площадь около 30 км<sup>2</sup>. На этой территории выпадает около 630 мм атмосферных осадков, значит конденсационный сток в этой части бассейна составляет примерно 13 мм. Его роль особенно велика в периоды длительных засух, когда динамические запасы подземных вод достигают полного истощения. Оценка конденсационного стока позволяет учесть несовпадение поверхностных и подземных водосборов.

Однако большая часть бассейна р. Бодрак располагается в пределах Южного межгрядового понижения. Попробуем оценить конденсационный сток на этой территории, где хорошо карстующимися породами являются отложения нижнего мела, бронирующие вершины столовых гор (более 10 % территории водосборного бассейна) (рис. 3). Для этого используем данные дебитов родников г. Патиль в межлетний период.

На г. Патиль имеются два родника, которые никогда не пересыхают (наблюдения за ними проводятся с 1998 г.). По составу воды родники — пресные щелочные гидрокарбонатно-кальцевые (НСО<sub>3</sub> 88–95 % экв., Са 83–85 % экв.) с жесткостью около 5 мг-экв./л. Несмотря на то что родник северо-западного склона г. Патиль находится в зоне развития флишевых отложений (Т<sub>3</sub>-J<sub>1</sub>tv), по его химическому составу понятно, что он формируется в карбонатных отложениях. Низкая мине-

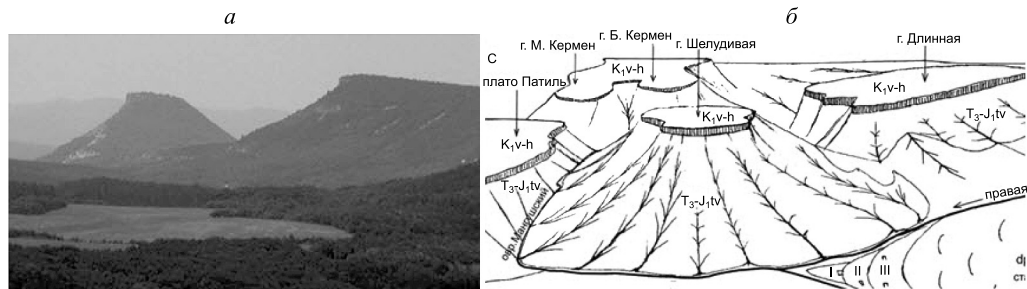


Рис. 3. Столовые горы в бассейне р. Бодрак: а — фото; б — схема

рализация (40–50 мг/л) свидетельствует о том, что область формирования стока родников находится близко от области разгрузки (т. е. вода источников не успевает насытиться солями).

Средний суммарный меженный расход родников г. Патиль примерно  $40 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Площадь бронирующего горизонта  $K_1(v-h) \sim 0,35 \text{ км}^2$ , мощность карстующихся отложений не более 17 м. На высотах 400 м (уровень плоской вершины г. Патиль) выпадает около 700 мм осадков в год. Общая площадь нижнемеловых отложений составляет примерно  $8,5 \text{ км}^2$ .

При условии, что процессы конденсации идут со второй половины апреля до первой половины октября все нижнемеловые отложения бассейна р. Бодрак дают примерно 1,5–2 мм конденсационного стока в год. Отложения палеогена и верхнего мела обеспечивают слой конденсации 13 мм. Суммарная конденсация с площади водосборного бассейна за счет карбонатных пород палеогена, верхнего и нижнего мела составляет слой около 7 мм в год.

### *Сток реки Бодрак (У)*

Методы для оценки стока выбирались с учетом того, что полевые исследования проводились только в летний период [4]. Сток на изучаемой территории осуществляется трещинно-грунтовыми водами, формирующимися в зоне выветривания коренных пород, некоторая часть стока обеспечивается процессами конденсации в карбонатных породах. Разгрузка подземных вод в реку равна общему подземному стоку или меньше его. Подземный сток динамичен и имеет сезонный режим.

Общий речной сток объединяет поверхностный сток  $h$  (за счет осадков и снеготаяния) и подземный  $W$  (за счет грунтовых вод). Поверхностный сток складывается из склонового и руслового стоков. В верховьях по площади развития водупорных толщ глинистых сланцев таврической серии осуществляется транзитный сток дождевых вод. При переходе на площади развития мел-палеогеновых и далее неогеновых отложений наблюдаются выраженные участки поглощения стока (за счет карста). На р. Бодрак нередки явления, когда на смежных участках сосуществуют дренирование водоносных пород и поглощение речного стока. Основную роль в бассейне играют дожди — снеговые и подземные воды имеют подчиненное значение. Временные водотоки, существующие в периоды дождей и некоторое время после, составляют существенную часть гидрографической сети.

Подземные воды бассейна р. Бодрак круглый год обеспечивают питание реки, даже в те периоды, когда поверхностный сток полностью отсутствует. Пересыхание реки затрудняет оценку подземного стока гидрометрическим методом, однако с помощью этого метода мы можем судить о влиянии на подземный сток метеорологических параметров — температуры и количества атмосферных осадков. Гидрометрическая съемка показала, что естественные ресурсы подземных вод в бассейне р. Бодрак чрезвычайно зависят от метеорологических факторов и подземный сток крайне неустойчив. По результатам оценки подземного стока ( $W$ ) разными методами получены среднегодовые значения, равные 4 мм слоя [4].

Речной сток как составляющая водного баланса (40 мм слоя) получен с привлечением материалов сайта комитета по водохозяйственному строительству и орошаемому земледелию республики Крым [15], где размещена информация об объ-

емах стока большинства рек полуострова, путем деления объема стока р. Бодрак на площадь речного бассейна (3,15 млн. м<sup>3</sup>/76,5 км<sup>2</sup>).

Некоторое количество пресной воды на водосборе р. Бодрак зарегулировано в ставках (*s*). Общая площадь зеркала водоемов бассейна р. Бодрак — примерно 30 га. Существует около двух десятков водоемов сезонного регулирования, в них собирается большая часть поверхностного стока зимне-весеннего периода, которая может быть использована в маловодные летне-осенние периоды. В питании большинства водоемов участвуют родниковые воды. По нашим оценкам, общий объем этих вод составляет 1211 тыс. м<sup>3</sup> (или 5 мм слоя).

### *Расчет водного баланса бассейна р. Бодрак*

Взяв за основу вышеизложенные и уже опубликованные материалы [4], построим уравнение водного баланса бассейна р. Бодрак

$$i = (P + Z + T) - (E + h + W + s) = (685 + 7 + T) - (525 + 36 + 4 + 5) \geq 122 \text{ мм.} \quad (2)$$

Некоторое количество влаги тратится на инфильтрацию (склоновый сток, инфлюацию и т.п.), вероятно, значительная часть подземных вод разгружается скрытно. Оценить эти траты не представляется возможным. Рассмотрев уравнение водного баланса (2), понимаем, что на инфильтрацию (*i*) должно идти не меньше 122 мм слоя (с учетом того, что нам неизвестно, сколько приходится на притоки подземных вод):

атм. осадки	+	конден- сация	+	подзем- ный при- ток	=	суммар- ное ис- парение	+	по- верхн. сток	+	под- земн. сток	+	заре- гулир. сток	+	потери на инф. +невязка
P	+	Z	+	T	=	E	+	h	+	W	+	s	+	i
692								40						
685	+	7	+	?	=	525	+	36	+	4	+	5	+	>122

Объемы подземных притоков оценить не удалось, но известно (по химическим и изотопным данным), что такие притоки существуют: во-первых, в верховьях р. Бодрак в химическом составе отмечены повышенные значения Mg<sup>2+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; во-вторых, существует аномальная зона с притоками хлоридно-натриевых вод (северо-восточная часть д. Трудолюбовки) с минерализациями до 2–3 г/л; в-третьих, в областях распространения триасово-юрских отложений на глубинах более 20–30 м ощущаются притоки вод иного химического состава, об этом говорит пестрый состав грунтовых вод колодцев и некоторых родников.

На территории бассейна р. Бодрак с 1998 г. по настоящее время в рамках студенческой практики по геологическому картированию постоянно ведутся исследования химического состава природных вод (в том числе атмосферных осадков). В результате обработки фактического материала по гидрохимии были получены средние значения содержания основных компонентов в составе всех природных вод региона [16–18]. Для оценки неизвестных составляющих водного баланса используем средние данные по содержанию хлор-ионов в природных водах изучае-



мого района, при этом примем допущение, что испарившаяся влага хлор-иона в заметных количествах не содержит.

Содержание хлора в природных водах бассейна р. Бодрак (мг-экв./л)

атмосф. осадки	конденсация	подземный приток	суммарное испарение	поверхн. сток	подземн. сток	зарегулир. сток	потери на инф.							
P	+	Z	+	T	=	E	+	h	+	W	+	s	+	i
0,06		0,06		24*		0		0,7		1,0		0,9		1,5

\* Такие концентрации получены при откачке скважины на участке Марлена, расположенном на севере д. Трудолюбовки.

Следует отметить, что идея использования гидрохимических методов при гидрогеологических исследованиях не нова [19].

Содержание Cl в атмосферных осадках в среднем составляет — 0,06 мг-экв./л, в подземном стоке — 1 мг-экв./л (среднее по многочисленным данным колодцев). В фильтрационных водах концентрация хлора принята 1,5 мг-экв./л, такое содержание отмечено в водах палеогеновых отложений, которые прорезает р. Бодрак в районе Второй гряды (где в основном и теряются воды на инфлюацию и инфильтрацию).

Далее рассчитаем баланс для хлора (мг-экв.):

Атм. осадки	конденсация	подземный приток	суммарное испарение	поверхн. сток	подземн. сток	зарегулир. сток	потери на инф. + невязка							
P	+	Z	+	T	=	E	+	h	+	W	+	s	+	i
41,5		+	175,2	=	0	+	25,2	+	4	+	4,5	+	>183	
0,06			24		0		0,7		1,0		0,9		1,5	
699 мм				=	699 мм									

После чего вычислим подземные притоки слоя:

$$175,2/24 = 7 \text{ (мм)}.$$

Безусловно, полученные цифры не претендуют на большую точность, но дают ориентировочные представления о составляющих водного баланса бассейна р. Бодрак и других подобных речек северо-западного склона Крымских гор.

Водный баланс бассейна р. Бодрак (данные в мм слоя)

атмосферные осадки	конденсация	подземный приток	суммарное испарение	поверхн. сток	подземн. сток	зарегулир. сток	инфильтр + невязка							
P	+	Z	+	T	=	E	+	h	+	W	+	s	+	i
685	+	7	+	7	=	525	+	36	+	4	+	5	+	129

Интересно, что зарегулированная в ставках вода почти на 70 % имеет подземное происхождение, это следует из данных о содержании хлора. Если принять количество воды в ставках бассейна р. Бодрак за 100 %, то можно выяснить, какой процент подземных вод ( $W\%$ ) идет на заполнение водоемов:

$$1,0 \times W\% + 0,7 \times (100\% - W\%) = 0,9 \times 100\%;$$

$$W\% = 67\%.$$

### Заключение

В процессе круговорота все природные воды бассейна р. Бодрак взаимодействуют. Поверхностный сток рек, имеющий сезонные колебания (паводок — межень), обеспечивает гидравлическую связь подземных вод с речными. Инфильтрационное питание подземных вод обуславливает функционирование подземного стока, формируя естественные ресурсы подземных вод. Анализ водного баланса водосборной площади р. Бодрак свидетельствует, что осадки расходуются главным образом на валовое увлажнение территории, величина которого составляет 652 мм (77 % годовой суммы осадков). Подавляющая часть валового увлажнения расходуется на испарение.

#### Элементы водного баланса бассейна р. Бодрак

Осадки, мм	692
Общий речной сток, мм	45
Подземный сток, мм	4
% общего	9
Поверхностный сток, мм	36
% общего	80
Зарегулированный сток, мм	5
% общего	11
Испарение $E$ , мм	525
Валовое увлажнение территории, мм	652
Коэф. питания реки подземными водами	0,01

Полный речной сток р. Бодрак формируется главным образом благодаря поверхностной (паводковой) составляющей, доля которой 80 %. Питание реки подземными водами происходит в основном за счет подрусовых, аллювиальных вод, а также подземных вод отложений:  $T_3-J_{1tv}$ ,  $T_3-J_{1es}$ ,  $J_2b$ ,  $K_1$ ,  $P_2$ . Коэффициент питания реки подземными водами 0,01.

### Литература

1. Каюкова Е. П. Мезоклимат полигона Крымской геологической практики и современные тенденции его изменения // Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2010. Вып. 4. С. 32–46.
2. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике / под ред. А. А. Соколова и Т. Г. Чапмена. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 120 с.
3. Архив погодных условий. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения: 03.12.2010).

4. Каюкова Е. П. Изучение и оценка подземного стока малых рек на примере бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2015. Вып. 2. С. 130–151.
5. Ольдекоп Э. М. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911. 209 с.
6. Schreiber P. Uber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfuehrung der Flusse in Mitteleuropa. Meteorolog. 1904. Z. 21, 441–452.
7. Turc L. Le bilan d'eau des sols. Relation entre la precipitation, l'evaporation et l'ecoulement. Ann. Agron. 1954, N 5. P. 491–569.
8. Кузин П. С. График испарения с поверхности речного бассейна и его применение к расчету среднего многолетнего стока // Записки ГГИ. 1934. Т. 12. С. 189–209.
9. Чеботарев А. И. Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 544 с.
10. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. Л.: Гидрометеиздат, 1948. 136 с.
11. Мезенцев В. С. Расчет водного баланса. Омск. сельхоз. ин-т, 1976. 76 с.
12. Лобода Н. С. Методические подходы к оценке естественных водных ресурсов горных районов на основе метеорологической информации // Міжвід. наук. зб. України. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2002. Вип. 45. С. 118–124.
13. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке — начале XXI века и ее оптимизация / под ред. В. А. Бокова. Симферополь: Крымский научный центр, 2011. 227 с.
14. Вахрушев Б. А. Конденсаційна складова підземного живлення річок і джерел Кримсько-Кавказького карстового регіону // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2001. Т. 2. С. 283–289.
15. Сайт Республиканского комитета водного хозяйства АРК Рескомводхоз АРК. URL: <http://www.vodhoz.crimea.ua/reki-i-balki-severo-zapadnich-sklonov-krimskich-gor/bodrak> (дата обращения: 20.09.2010).
16. Каюкова Е. П., Чарыкова М. В. Особенности химического состава подземных и поверхностных вод полигона Крымской учебной практики геологического факультета СПбГУ // Вестник С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2010. Вып. 3. С. 29–47.
17. Каюкова Е. П. Гидрохимические особенности атмосферных осадков полигона Крымской геологической практики СПбГУ // Вестник С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология. География. 2011. Вып. 2. С. 26–43.
18. Каюкова Е. П. Химический состав подземных вод Горного Крыма // Геология, геоэкология, эволюционная география: коллективная монография. Том XIV / под ред. Е. М. Нестерова, В. А. Снытко, В. З. Кантора. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2015. С. 173–178.
19. Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. Л.: Недра, 1972. 184 с.

**Для цитирования:** Каюкова Е. П. Использование гидрохимических данных для оценки элементов водного баланса (на примере бассейна р. Бодрак, юго-западный Крым) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 25–36. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.403

## References

1. Kayukova E. P. Mezoklimat poligona Krymskoi geologicheskoi praktiki i sovremennyye tendentsii ego izmeneniia [The mesoclimate of field of the Crimean geological practice and modern trends of its change]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2010, issue 4, pp. 32–46. (In Russian)
2. *Metody rascheta vodnykh balansov. Mezhdunarodnoe rukovodstvo po issledovaniiam i praktike [Methods for calculating the water balance. International Guidelines for Research and Practice]*. Eds A. A. Sokolov, T. G. Chapmen. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. 120 p. (In Russian)
3. *Arkhiv pogodnykh uslovii [Weather archive]*. Available at: <http://rp5.ru> (accessed 03.12.2010). (In Russian)
4. Kayukova E. P. Izuchenie i otsenka podzemnogo stoka malykh rek na primere basseina r. Bodrak (iugo-zapadnyi Krym) [Study and estimation of groundwater flow of small rivers on the case study of the basin of the river Bodrak (Southwestern Crimea)]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2015, issue 2, pp. 130–151. (In Russian)
5. Ol'dekop E. M. *Ob isparenii s poverkhnosti rechnykh basseinov [The evaporation from the surface of the river basin]*. Iur'ev, 1911. 209 p. (In Russian)
6. Schreiber P. Uber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfuehrung der Flusse in Mitteleuropa. *Meteorolog*, 1904, Z. 21, pp. 441–452.

7. Turc L. Le bilan d'eau des sols. Relation entre la precipitation, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.*, 1954, no. 5, pp. 491–569.
8. Kuzin P.S. Grafik ispareniiia s poverkhnosti rechnogo basseina i ego primenenie k raschetu srednego mnogoletnego stoka [Schedule of evaporation from the surface of the river basin and its application to the calculation of the mean annual runoff]. *Zapiski GGI [Notes of GGI]*, 1934, vol. 12, pp. 189–209. (In Russian)
9. Chebotarev A.I. *Obshchaia gidrologiia [General hydrology]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 544 p. (In Russian)
10. Budyko M.I. *Isparenie v estestvennykh usloviakh [Evaporation in natural conditions]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1948. 136 p. (In Russian)
11. Mezentsev V.S. *Raschet vodnogo balansa [Calculation of the water balance]*. Omsk. sel'khoz. in-t, 1976. 76 p. (In Russian)
12. Loboda N.S. Metodicheskie podkhody k otsenke estestvennykh vodnykh resursov gornyykh raionov na osnove meteorologicheskoi informatsii [Methodical approaches to the estimation of the natural water resources of mountain areas on the basis of meteorological information]. *Mizhvid. nauk. zb. Ukrainy. Meteorologija, klimatologija ta gidrologija [Mizhvid. Science. Coll. Ukraini. Meteorology, climatology and hydrology]*, 2002, issue 45, pp. 118–124. (In Russian)
13. *Transformatsiia struktury vodnogo balansa v Krymu v XX veke — nachale XXI veka i ee optimizatsiia [The transformation of the structure of the water balance in the Crimea in the 20<sup>th</sup> century — beginning of the 21<sup>st</sup> century and its optimization]*. Ed. by V.A. Bokov. Simferopol', Krymskii nauchnyi tsentr Publ., 2011. 227 p. (In Russian)
14. Vakhrushev B.A. Kondensacijna skladova pidzemnogo zhyvlennja richok i dzherel Kryms'ko-Kavkaz'kogo karstovogo regionu [Condensing component of the river underground supply sources and springs of the Crimea-Caucasus karst region]. *Gidrologija, gidrohimiija i gidroekologija [Hydrology, geochemistry and hydroecology]*, 2001, vol. 2, pp. 283–289. (In Ukrainian)
15. *Sait Respublikanskogo komiteta vodnogo khoziaistva ARK Reskomvodkhoz ARK [The site of the Republican Committee of Water Resources of Crimea]*. Available at: <http://www.vodhoz.crimea.ua/reki-i-balki-severo-zapadnich-sklonov-krimskich-gor/bodrak> (accessed 20.09.2010). (In Russian)
16. Kaiukova E.P., Charykova M.V. Osobennosti khimicheskogo sostava podzemnykh i poverkhnostnykh vod poligona Krymskoi uchebnoi praktiki geologicheskogo fakul'teta SPbGU [Features of the chemical composition of groundwater and surface water of the field Crimean educational practice Geological Faculty of St. Petersburg State University]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2010, issue 3, pp. 29–47. (In Russian)
17. Kaiukova E.P. Gidrokhimicheskie osobennosti atmosferynykh osadkov poligona Krymskoi geologicheskoi praktiki SPbGU [Features of the chemical composition of precipitation of the Crimean training site of SPSU]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2011, issue 2, pp. 26–43. (In Russian)
18. Kaiukova E.P. Khimicheskii sostav podzemnykh vod Gornogo Kryma [Chemical composition of the groundwater of the Crimean mountain]. *Geologija, geoekologija, evoliutsionnaia geografija: kollektivnaia monografiia [Geology, geo-ecology, evolutionary geography: Monograph]*, vol. XIV. Eds E. M. Nesterov, V. A. Snytko, V. Z. Kantor. St. Petersburg, RGPU im. A. I. Gertsena Publ., 2015, pp. 173–178. (In Russian)
19. Korotkov A.I., Pavlov A.N. *Gidrokhimicheskii metod v geologii i gidrogeologii [Hydrochemical method in geology and hydrogeology]*. Leningrad, Nedra Publ., 1972. 184 p. (In Russian)

**For citation:** Kayukova E. P. Using hydrochemical data to estimate the components of the water balance (the Bodrak river basin, southwestern Crimea). *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 4, pp. 25–36. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.403

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

Контактная информация:

Кайукова Елена Павловна — старший преподаватель; epkayu@gmail.com

Kayukova Elena P. — Senior Lecturer; epkayu@gmail.com