

Е. П. Каюкова

ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ПОДЗЕМНОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. БОДРАК (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)*

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

Статья посвящена изучению и оценке подземного стока р. Бодрак, бассейн которой располагается на территории Крымского предгорья (Восточная часть Бахчисарайского района Крыма) в области активного водообмена. В статье показаны методы, которые можно использовать для оценки подземного стока при недостатке гидрометеорологических наблюдений. Оценка проводилась четырьмя методами, дана сравнительная таблица результатов. В работе приведены морфометрические, гидрометрические и другие расчетные показатели р. Бодрак и ее бассейна (выполненные с использованием программного продукта ArcGis 9), показана карта водосборного бассейна р. Бодрак.

По результатам гидрометрической съемки естественные ресурсы подземных вод в бассейне р. Бодрак чрезвычайно зависят от метеорологических факторов и подземный сток крайне неустойчив. 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 примененный метод позволяет судить о влиянии на подземный сток метеорологических параметров — температуры и количества атмосферных осадков. Изучаемая территория отличается высокими скоростями водообмена неглубокозалегающих подземных вод. Режим р. Бодрак имеет временной сдвиг около двух месяцев по сравнению с ходом атмосферных осадков; летний меженный сток р. Бодрак осуществляется, главным образом, за счет осадков зимне-осенних месяцев и оценивается примерно в 4 мм слоя в год. Оценка подземного стока имеет важное хозяйственное значение. Библиогр. 19 назв. Ил. 12. Табл. 7.

Ключевые слова: Горный Крым, подземный сток, зона активного водообмена, юго-западный Крым.

STUDY AND ESTIMATION OF GROUNDWATER FLOW OF SMALL RIVERS ON THE CASE STUDY OF THE BASIN OF THE RIVER BODRAK (SOUTH-WESTERN CRIMEA)

E. P. Kayukova

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

The article focuses on study and estimation of groundwater flow of the river Bodrak. Basin of the river Bodrak is located within the North-Western slopes of the Crimean mountains in the areas of active water exchange without any protection. The article describes methods of estimation of groundwater flow in case of seasonal (summer) observations. Morphometric, hydrometric and other parameters of the river catchment have been calculated using ArcGis 9 software (ArcMap module).

Groundwater flow assessment has been carried out using four different methods based on the study of morphometric and hydrometric parameters of the river catchment and groundwater regime and chemical composition. Method of spring yields. This method is based on calculation of average drought annual spring discharge in the river catchment. This parameter is equal to the minimum groundwater resources of upper hydrodynamic zone (above the local base level). Method of drought hydrometry. This method is based on the measurements of river flow during the drought period. Hydrochemical method. It is based on the difference in chemical composition of surface water and groundwater. Increase of TDS (or concentration of any component) is connected to the reduction of water flow, and therefore to the increase of the underground recharge. This method was applied using the concentrations of chloride and bicarbonate anions and water electric conductivity. Morphometric method. The method is applicable for the river catchments situated on the altitudes higher than 200 m.

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

Two types of dependence of drought groundwater flow on volumes of drained zones have been revealed. The first one is for rivers with average riverbed altitudes of lower than 400 m, the second one — for ones higher than 400 m. The river Bodrak is related to the first type. The groundwater flow module calculated with correction coefficients of the first type is 0.01 m³/s · km² (or thickness of groundwater flow of 4 mm/year). Small rivers of Crimean peninsula are very vulnerable to the climate change and human activity. The groundwater flow assessment is of great social and economical importance. Refs 19. Figs 12. Tables 7.

Keywords: Crimean Mountains, the zone of active water exchange, underground flow, South-Western Crimea.

Представленная работа посвящена изучению и оценке подземного стока р. Бодрак, бассейн которой располагается в Крымском предгорье; показаны методы, которые можно для этого использовать при недостатке гидрометеорологических наблюдений.

В новых политических условиях, когда Крымский полуостров вернулся в состав России, водные ресурсы Республики Крым становятся одним из ведущих факторов стабильного развития региона. При сложившейся экономической ситуации, когда Украина полностью перекрыла поставку воды по Северо-Крымскому каналу, остается максимально использовать собственные естественные ресурсы, для оценки которых изучение подземного стока малых рек Крыма становится жизненно необходимым. Малые реки отличает повышенная чувствительность к изменению природных и антропогенных факторов. Бесконтрольная эксплуатация водных объектов как источников водоснабжения населения в условиях недостаточного увлажнения территории неизбежно приводит к трансформациям количества и качества естественных водных ресурсов. Проблему усиливают неравномерное во времени распределение осадков и изменение климата. Оценка подземного стока приобретает важное водохозяйственное значение.

Введение

В современный исторический период Крымское предгорье является областью питания напорных водоносных комплексов артезианских бассейнов Равнинного Крыма (Альминского и Белогорского). Это область активного водообмена. Главный водораздел проходит по яйлам Главной гряды. Большинство рек Крымского полуострова берет свое начало в горах на высотах 600–1100 м, где существует множество карстовых родников. На крымских яйлах речная сеть полностью отсутствует — весь поверхностный сток переходит в подземный (карстовый).

В зависимости от направления стока поверхностных вод все реки Крымского полуострова делятся на пять групп. К группе рек северо-западных склонов гор относятся реки, берущие начало в западной части Крымских гор и впадающие в Черное море в районе Севастополя и к северу от него. Это сравнительно небольшие, обычно пересыхающие летом реки со среднегодовыми расходами около 1–3 м³/с: Черная, Бельбек, Кача, Альма, Бодрак (левый приток р. Альмы), Западный Булганак и др.

Река Бодрак формируется и протекает в пределах Бахчисарайского района Крыма, пронося свои воды с юго-востока на северо-запад, мимо населенных пунктов д. Трудолюбовка и пос. Скалистое, до пос. Новопавловка, где впадает в р. Альма (в среднем ее течении), текущую на запад к Черному морю.

Начало систематических наблюдений на крымских реках относится к 1913 г. Всего за время существования гидрометрической сети в Крыму был открыт 191 гидропост, однако расположены гидропосты были крайне неравномерно — под наблюдением находились, главным образом, средние течения основных рек.

В настоящий период гидрологическая сеть состоит из 34 гидропостов; к сожалению, после 1987 г. результаты гидрометрических наблюдений не публикуются. Закрывание гидропостов, а значит, и отсутствие гидрометрических данных затрудняют оценку водных ресурсов. Тем не менее некоторые необходимые данные были получены на интернет-сайтах, например, на сайте Республиканского комитета по водохозяйственному строительству и орошаемому земледелию была размещена некоторая информация о водных ресурсах Крыма. В частности о р. Бодрак приводились следующие сведения: расход воды — $0,10 \text{ м}^3/\text{с}$; среднегодовой объем стока — $3,15 \text{ млн м}^3$; коэффициент вариации — $0,36$; максимальный расход — $44,3 \text{ м}^3/\text{с}$ [1].

Методы расчета стока р. Бодрак, используемые в данной работе, выбирались с учетом того, что полевые исследования проводятся только в летний период.

Общие сведения

Исследуемая территория относится к зоне недостаточного увлажнения с умеренно-континентальным климатом. Атмосферные осадки, являясь основным источником формирования подземных и поверхностных вод территории, определяют динамический и гидрохимический режимы подземных и поверхностных вод, влияя на общую экологическую ситуацию района. Исследования химического состава атмосферных осадков ведутся с 1999 г. по настоящее время в рамках студенческой геологической практики [2, 3].

Геологический разрез представлен отложениями пород мезозойского и кайнозойского возраста: верхнетриасово-нижнеюрские дислоцированные флишевые и вулканогенно-осадочные среднеюрские отложения с угловым несогласием перекрываются моноклиально залегающими терригенными и карбонатными (слабозакарстованными) породами мелового и палеогенового возраста, падающими на северо-запад под углами $5\text{--}10^\circ$. Четвертичные отложения слагают террасы рек, конусы выноса, осыпи и оползни. Рельеф территории низкогорный. На склонах Внутренней гряды развиты поверхностные карстовые формы (карры, мелкие воронки и поноры).

К югу от Внутренней гряды располагается Южное эрозионно-денудационное межгрядовое понижение (северо-западное крыло Качинского поднятия), представляющее собой сложную сеть оврагов и балок, сформированных в результате глубокой эрозии песчано-сланцевых триасово-юрских и частично среднеюрских отложений, обнажающихся на северных склонах Главной гряды.

Гидрогеологические условия территории

Крымское предгорье по своим гидрогеологическим условиям занимает промежуточное положение между гидрогеологическими областями трещинно-карстовых вод Главной гряды Крымских гор и артезианскими бассейнами Степного Крыма. Терригенно-карбонатные породы (мелового и палеогенового возраста), слагающие

Внутреннюю грядку, относятся к области питания Альминского артезианского бассейна. Река Бодрак, пересекая отложения мелового возраста (Внутренняя гряда) и неогенового возраста (Внешняя гряда), питает основные водоносные горизонты Альминского артезианского бассейна, теряя значительное количество своих вод на инфлюацию и инфильтрацию.

Грунтовые воды в бассейне р. Бодрак циркулируют в породах разного возраста и литологического состава, образуя не выдержанные по площади четвертичные горизонты (аллювиальные, пролювиальные, делювиальные) и зоны трещинно-грунтовых вод в трещиноватых карбонатных породах мелового, палеогенового, неогенового возраста и в корах выветривания коренных пород.

В верховьях р. Бодрак, где широко развиты флишевые отложения таврической и эскиординской серий (T_3-J_1), подземные воды почти полностью отсутствуют. Питание грунтовых вод в бассейне р. Бодрак осуществляется по всей площади бассейна, главным образом, за счет атмосферных осадков (около 600 мм в год), конденсации влаги в зоне аэрации, поверхностного стока и отчасти за счет разгрузки подземных вод нижележащих водоносных зон. Характер распределения выпадающих атмосферных осадков и температуры воздуха определяет естественный режим грунтовых вод района. В зимне-осеннее время, когда температура воздуха сравнительно небольшая, происходит интенсивное питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков. Грунтовые воды могут выходить на поверхность, образуя нисходящие источники.

Для водоносности отложений таврической, эскиординской и байосской серий нижнего структурного этажа определяющее значение имеют зоны экзогенной или эндогенной трещиноватости и тектонических нарушений, где могут формироваться локальные водоносные зоны.

Трещинные безнапорные воды экзогенной трещиноватости, приуроченные к верхней части разреза, широко развиты в районе исследования. С глубиной экзогенная трещиноватость затухает, что приводит к снижению проницаемости пород. Разгрузка подземных вод формируется в оврагах и межгорных впадинах как «открыто» (в виде источников и родников), так и «скрыто» в гидрографическую сеть. Далее эти воды попадают в р. Бодрак, которая является естественной областью разгрузки трещинных и поровых вод долины. Практически все подземные воды территории легко дренируются, так как находятся в зоне активного водообмена.

Куэстовый рельеф меловых пород (Корабельная, Баклинская куэсты) и плоские вершины гор способствуют задерживанию атмосферной влаги, которая, просачиваясь по трещинам и карстовым пустотам, формирует сток.

В формировании химического состава грунтовых вод большое значение имеет медленное выщелачивание малорастворимых солей, возникающее при выветривании горных пород. В результате происходит формирование гидрокарбонатных вод: гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-магниевых. В силу малой растворимости данных солей практически все подземные воды бассейна р. Бодрак (исключая аномальные области) имеют невысокую минерализацию — около 1 г/л.

Анализ материалов летних меженных гидрометрических съемок обнаружил тесное взаимодействие речных и подземных вод по всей длине р. Бодрак.

Река Бодрак

Истоки р. Бодрак и верхние притоки формируются за пределами учебного полигона на юго-западных склонах хребта Азарпсырт (с максимальной абсолютной отметкой 560 м) и северных склонах г. Вольская (абс. отм. — 486 м), которые фактически являются водоразделами рек Альма, Марта и Бодрак. Рельеф здесь холмистый, эрозионно-расчлененный с многочисленными балками и оврагами со следами временных водотоков, преобладают узкие водоразделы. Истоки р. Бодрак начинаются серией мелких лужиц в областях распространения сланцев таврической серии.

Русло реки имеет линейно-вытянутую форму с уклоном в верхнем течении около 28‰. Заложение долины р. Бодрак происходило преимущественно по зонам тектонических нарушений и зонам повышенной трещиноватости. Аллювиальные и различные склоновые отложения имеют невыдержанный характер и местами речная вода течет по коренным флишевым отложениям. Породы таврической серии трещиноваты (вследствие интенсивной водной эрозии) и местами сток осуществляется под русло.

Вниз по течению р. Бодрак (перепад около 230 м) меняются литологический состав и возраст отложений. В среднем и нижнем течении р. Бодрак значительная часть поверхностного потока поглощается аллювиальными отложениями и трещиноватыми отложениями коренных пород речной долины.

Подземные воды в аллювиальных отложениях реки и в подстилающих аллювий трещиноватых породах образуют единый подрусловой поток. Местами р. Бодрак не имеет аллювиальных отложений и течет непосредственно по коренным породам, в меженный период сток часто осуществляется подрусловым потоком. Хорошо выработанные формы говорят о размывающей силе водных потоков, которые и сформировали современное русло.

В настоящий период в р. Бодрак впадают ряд ручьев, текущих по днищам крупных оврагов: с левого борта — Мангушский, Московский (Мендер), Ленинградский (Шара); с правого борта — Джидайрский, Дохлой Лошади (Колхозный), Баклинский (Такма).

Долина реки (пойма шириной от 200 до 400 м) занята садами, огородами, пашнями, которые с середины 90-х годов начинают приходить в упадок, фруктовые деревья вырождаются и сады деградируют. В северной и центральной частях речная долина имеет широкое уплощенное днище с хорошо выраженными поймами и уровнями I–IV террас, относимых к голоцену и позднему плейстоцену [4]. Более высокие уровни V–XI террас среднего и раннего плейстоцена имеют останцовый характер.

Ближе к пос. Скалистое долина р. Бодрак сужается, образуя небольшой каньон, который прорезает зону куэст Внутренней гряды Крымских гор. Здесь осуществляется инфлюационное и фильтрационное поглощение речных вод и временных потоков слабозакарстованными карбонатными отложениями. В областях распространения датских и среднеэоценовых нуммулитовых известняков имеется ряд небольших карстовых форм, мелкие воронки, карры, поноры, каверны.

Перед впадением р. Бодрак в р. Альму продольный профиль долины несколько выполаживается и в нижнем течении ее уклон составляет 10‰. Местами русло искусственно углублялось и спрямлялось, был сооружен противопаводковый вал.

В недалеком геологическом прошлом (в начале четвертичного периода) р. Бодрак не была притоком р. Альмы, а текла к морю. Альма же протекала по долине нынешнего Западного Булганака. Позже, вместе с общим подъёмом Крымского полуострова, правый приток р. Пра-Бодрак врезался в бассейн соседней р. Альмы, воды верховьев которой устремились в долину притока р. Пра-Бодрак [4]. Произошло изменение бассейнов водосбора долин р. Альмы и Бодрака, начинается интенсивное эрозионное расчленение долины р. Бодрак.

В современный период площадь водосборного бассейна р. Бодрак составляет 76,5 км², длина реки около 15,5 км, ширина летом не более 2–3 метров, глубина около 30 см (рис. 1). Часто в засушливые годы в летний и осенний периоды река (на всем своем протяжении) полностью пересыхает.



Рис. 1. Долина р. Бодрак

В летние месяцы поверхностные воды бассейна р. Бодрак обычно имеют сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав, в отдельные года концентрации Mg могут превышать концентрации Ca, что связано с режимом атмосферных осадков. В природных водах верховьев р. Бодрак, как подземных, так и поверхностных, приуроченных к флишевым отложениям (в алевритовых толщах которых нередко встречаются сидеритовые конкреции и пирит), наблюдаются повышенные содержания Mg и SO₄. Концентрации железа в водах р. Бодрак доходят до 0,3 мг/л, состав микрокомпонентов однородный. Содержания Ba относительно средних концентраций для вод зоны гипергенеза превышены в несколько раз.

Основные расчетные характеристики р. Бодрак

Первоначально (с помощью программы Google Satellite Maps Downloader) из Google Maps был получен небольшой участок спутникового изображения, включающий бассейн р. Бодрак. Далее с помощью модуля ArcMap на карте были изображены основные водораздельные линии, отделяющие соседние речные бассейны, и второстепенные, отделяющие небольшие водосборные площади впадающих в р. Бодрак поверхностных водотоков (рис. 2). Границами водосборной площади служат линии водоразделов, пересекающие горизонталь поверхности под прямым углом. Затем были оцифрованы горизонталь и водные объекты (см. рис. 2).

Для вычисления морфометрических, гидрометрических и других показателей были использованы широкие возможности программного продукта ArcGis 9,

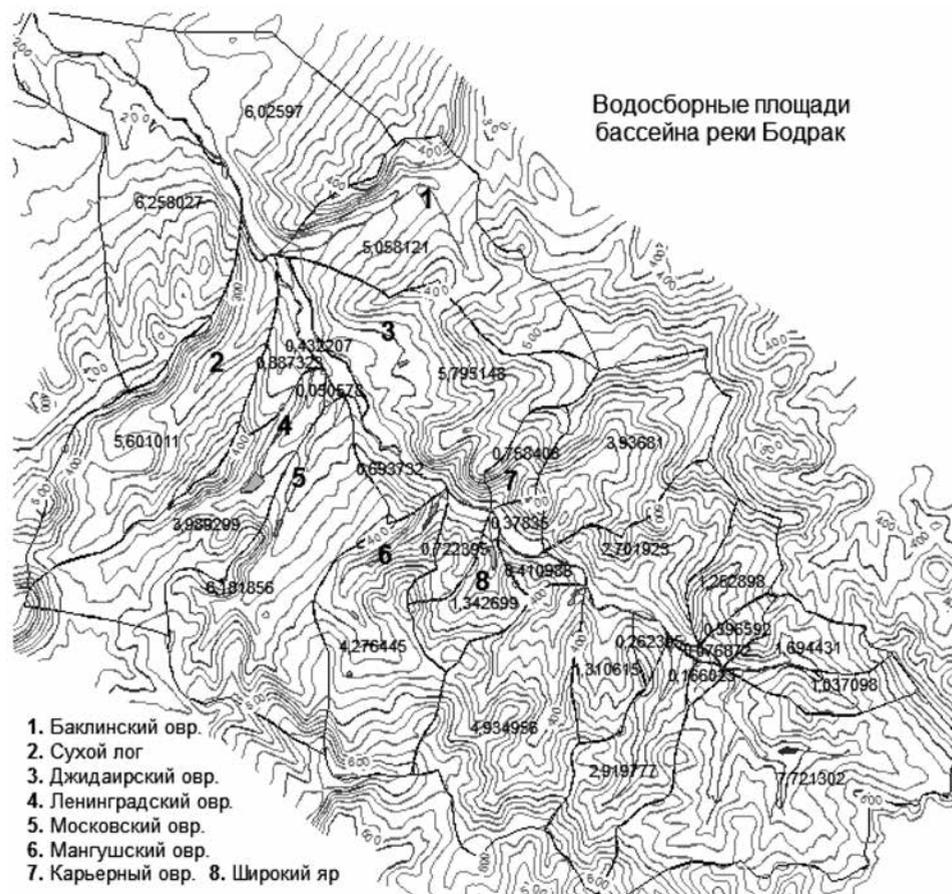


Рис. 2. Водосборный бассейн р. Бодрак

который позволяет современными методами с большой точностью производить измерения длин и площадей, в результате получены следующие данные:

1) водосборная площадь р. Бодрак (участок земной поверхности, с которой поверхностные и дождевые воды согласно рельефу поверхности земли стекают в реку) вычислена как площадь горизонтальной проекции бассейна: $F = 76,53 \text{ км}^2$. С привлечением участка спутникового изображения из Google Maps рассчитаны площади водосборов поверхностных водотоков бассейна р. Бодрак и межприточные пространства, площади основных из них составили: овр. Мангушский — $4,28 \text{ км}^2$, овр. Московский (Мендер) — $6,18 \text{ км}^2$, овр. Ленинградский (Шоры) — $3,99 \text{ км}^2$, овр. Баклинский (Токма) — $5,06 \text{ км}^2$, межприточная площадь левого борта р. Бодрак — $22,15 \text{ км}^2$, межприточная площадь правого борта р. Бодрак — $19,53 \text{ км}^2$ (см. рис. 2);

2) периметр площади бассейна р. Бодрак — около 45 км ;

3) длина водосбора (расстояние по прямой от устья до наиболее отдаленной точки бассейна) составила: $L_B = 15,77 \text{ км}$;

4) средняя ширина водосбора: $V_{\text{ср.}} = F/L_B = 4,85 \text{ км}$, максимальная: $8,2 \text{ км}$;

7) коэффициент озерности представляет собой отношение суммы площадей всех озер на водосборе к общей площади водосбора: $f_{\text{оз.}} = F_{\text{оз.}}/F \cdot 100\% \approx 0,3$;

8) густота речной сети определяется как отношение суммарной длины всех водотоков (реки, ручьи) к общей площади водосбора: $\rho = \sum_{i=1}^n l_i / F = 0,5 \text{ км/км}^2$.

9) длина реки (расстояние вдоль русла от истока до устья): $L_p = 15,4 \text{ км}$;

10) расстояние вдоль русла реки от устья до наиболее удаленной точки речной сети — около 16,5 км;

11) степень извилистости реки определялась как коэффициент извилистости: $K_{\text{изв}} = L_p / L'$, где L_p — длина реки на рассматриваемом участке, измеренная с учетом всех извилин, а L' — длина отрезка прямой линии, соединяющей начало и конец реки. Для р. Бодрак коэффициент извилистости составил 1,16;

12) падение реки определялось как разность отметок истока и устья русла реки: $390 \text{ м} - 160 \text{ м} = 230 \text{ м}$. Уклон реки определялся как отношение падения реки к длине реки: $i = \frac{H_{\text{истока}} - H_{\text{устья}}}{L} = 0,015 = 15\%$;

13) построен продольный профиль речного русла (рис. 3). Средняя отметка продольного профиля р. Бодрак составила 250 м;

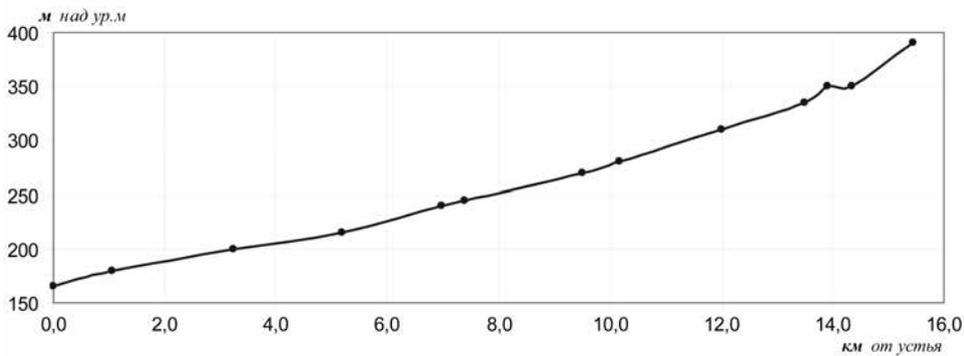


Рис. 3. Продольный профиль русла р. Бодрак

14) средняя высота водосбора бассейна р. Бодрак H_B (м) определялась по гипсографической кривой водосбора (распределение площадей участков водосбора по высотным зонам) и вычислялась с использованием формулы

$$H_{\text{ср.}} = \frac{f_1 H_1 + f_2 H_2 + \dots + f_n H_n}{F} = 380 \text{ м,}$$

где H_1, H_2, \dots, H_n — средние высоты между горизонталями (м); f_1, f_2, \dots, f_n — частные площади водосборов (км²), заключенные между горизонталями; F — общая площадь водосбора р. Бодрак (км²);

15) закарстованность водосбора f_k определяется как % площади карстующихся пород от общей площади водосбора (для вычисления закарстованной площади использовалась геологическая карта В. В. Юдина [5]): $29,84 \text{ км}^2 / 76,53 \text{ км}^2 = 0,39$ (или примерно 40%).

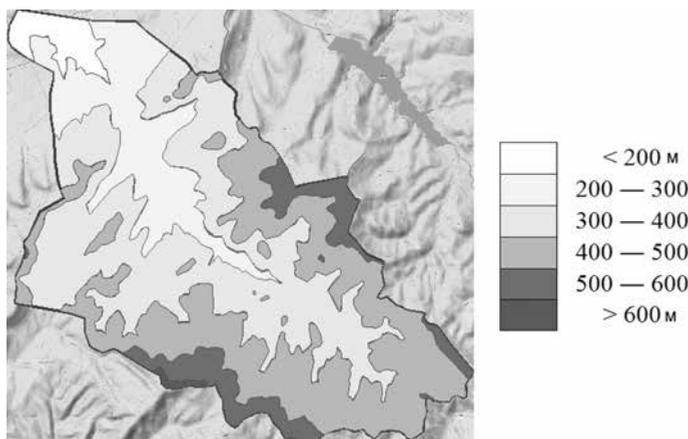


Рис. 4. Распределение площади бассейна р. Бодрак по высотным зонам

Таблица 1. Распределение площади водосбора по высотным зонам



О размещении площадей водосбора по высотным зонам (рис. 4) можно судить также по гипсометрической кривой. График строился по данным измеренных площадей, лежащих между горизонталями (табл. 1), и высотным отметкам. Построения и вычисления производились с использованием программного продукта ArcGis в модуле ArcMap. Гипсографическая кривая получена путем последовательного суммирования площадей, отложенных по оси абсцисс. Точки гипсографической кривой соединены плавной линией. На шкале процентов за 100% взята общая площадь бассейна.

Формирование стока р. Бодрак

По классификации Б. Д. Зайкова, основанной на связи режима реки с климатом, р. Бодрак по характеру внутригодового распределения стока относится к III группе рек с паводочным режимом. Внутригодовой ход стока рек этой группы определяется климатическими факторами: осадками, температурой воздуха, испарением, распределение стока в течение года крайне неравномерное.

Паводки рек Горного Крыма чаще случаются в холодный период года во время оттепелей (снеготаяние, дожди), на него приходится 80–95% всего годового стока; в меженный летне-осенний период также случаются паводки за счет ливней (5–20% стока) [6].

Важной основой характеристики внутригодового распределения стока служит гидрограф стока. На крымских реках весеннее половодье четко не выделяется, поскольку в период снеготаяния часты дожди (рис. 5).

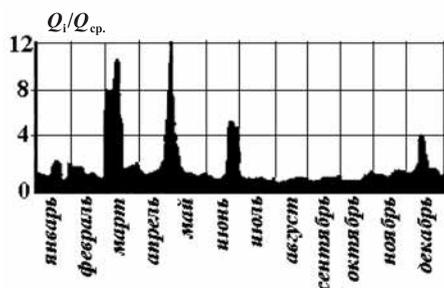


Рис. 5. Гидрограф стока крымских рек [7]

На фоне смешанного питания (подземное, дождевое, снеговое) основным для р. Бодрак является питание за счет атмосферных осадков. Выпадающие осадки частично идут на испарение и транспирацию растениями, частично — на поверхностный и подземный сток. Коэффициент дождевого стока наиболее высок после таяния снега, когда почва имеет максимальную степень увлажнения. Летом под влиянием высоких температур за счет испарения и транспирации почва сильно иссушается и повышается инфильтрационная способность. Большинство паводков характеризуется кратковременностью и высоким подъемом уровней воды в реке. При особенно сильных ливнях в верховьях паводков идет мощной все сметающей на своем пути лавиной. Такие пики паводков (см. рис. 5) могут держаться до 2 ч.

Во время таких паводков р. Бодрак, как и другие горные реки Крыма, становится бурной и способна производить значительные разрушения. В считанные часы мелководная вялотекущая речка может превратиться в стремительный поток (расход может увеличиться в сотни раз). Почти ежегодно случаются наводнения разной степени интенсивности. Высокие слои паводкообразующих осадков и стока р. Бодрак отмечены в декабре 1962 г. (табл. 2).

Таблица 2. Наибольшие слои паводкообразующих осадков и стока р. Бодрак [8]

Наибольшие суточные осадки (мм)	Дата	Средневзвешенные паводкообразующие осадки (мм)	Период	Слой стока (мм)	Коэффициент стока
31,3	17.12.1962	79,7	с 15 по 19 декабря 1962 г.	9,3	0,12

Продолжительные интенсивные ливни крайне опасны. После катастрофического ливня 20 августа 2004 г. река вышла из берегов, причинив значительный материальный ущерб местному населению. Чаще всего ливневые паводки теплого периода

бывают в июне [2, 8]. На территории д. Трудолюбовки для защиты от наводнений на некоторых участках р. Бодрак проведен ряд мероприятий (спрямление русла, сооружение противопаводкового вала и т. п.).

Минимальные среднесесячные расходы, когда поверхностное питание практически отсутствует и р. Бодрак полностью пересыхает, наблюдаются в конце лета — осенью, однако в отдельные годы р. Бодрак пересыхает уже в начале лета, как это было в июне 2012 г.

Для р. Бодрак характерны не только многолетние и сезонные колебания расходов воды, но и колебания гидрохимического состава, связанные с сезонными и многолетними изменениями гидрометеорологических условий.

Рассмотрим, как режим р. Бодрак согласуется с ходом атмосферных осадков. На основе данных по расходам р. Бодрак за период с 1963 по 1967 г. [9], с использованием норм 1930–1980 гг. построена зависимость расходов р. Бодрак от хода осадков (рис. 6). Наибольшую корреляцию расход р. Бодрак с ходом атмосферных осадков имеет при временном сдвиге в два месяца ($R^2 = 0,8$).

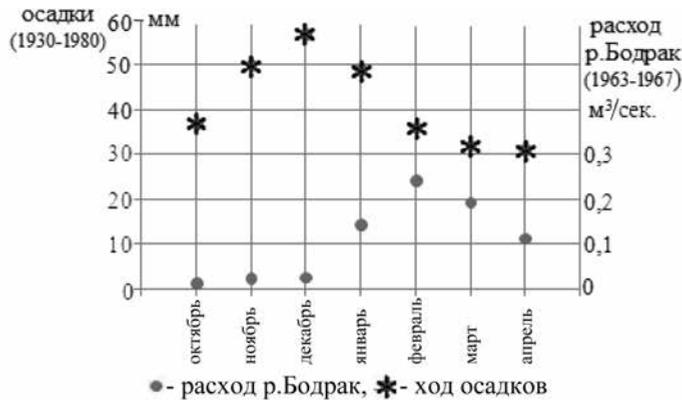


Рис. 6. Зависимость расходов р. Бодрак от хода атмосферных осадков

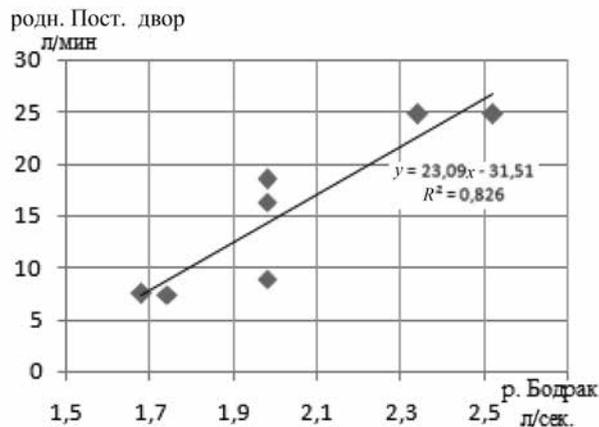


Рис. 7. Связь расходов р. Бодрак и родника Пост. двор (лето 2005 г.)

Режим родников, уровни подземных вод и подземных притоков в р. Бодрак так же, как и речной сток, повторяют ход атмосферных осадков, с некоторым временным отрывом. Внутригодовой режим подземного стока р. Бодрак близок к режиму родников, находящихся в его бассейне. На рис. 7 показана связь расходов реки с расходами одного из характерных родников бассейна.

Оценка подземного стока по дебитам источников

Ф. А. Макаренко [10] выделил критерий количественной оценки подземного притока в реки, установив, что изменение режима подземного стока в реке тесно коррелирует с режимом родников, питающихся за счет верхней, дренируемой реками части гидрогеологического разреза — зоны свободного водообмена; кривая суммарного дебита родников на площади соответствует кривой режима стока верхней зоны в реку. Естественные ресурсы подземных вод по среднегодовому родниковому стоку характеризуют минимальную величину естественных ресурсов подземных вод зоны активного водообмена в пределах выше базисной поверхности.

Расход подземного потока:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n q_i,$$

где q_i — дебит, n — количество родников.

В части бассейна р. Бодрак до створа д. Трудолюбовки (водосбор 44 км²) функционирует более 30 родников, большинство из них мелкие. Самым крупным является источник «Вербочки», который используется для организации централизованного водоснабжения д. Прохладное. В летний период с 1998 г. по настоящее время производятся измерения дебитов родников.

Несмотря на то, что измерения дебитов неравномерны во времени, были использованы имеющиеся усредненные данные. По этим данным, общий суммарный средний меженный родниковый сток до створа д. Трудолюбовки оценивается в 600 м³/сут, причем больший приток дает левобережная часть водосборной площади (в 6 раз), что связано с большими площадями распространения карстующихся карбонатных пород. Подземный сток части бассейна до створа в д. Трудолюбовке составляет слой около 5 мм/год. Метод позволяет оценить лишь часть разгрузки подземных вод.

Метод меженных гидрометрических съемок

Метод определения подземного стока по многолетним данным о меженном речном стоке (оценка естественных ресурсов подземных вод по расходу реки в межень) введен в использование А. З. Амусья в 1975 г. [10] (по данным Б. И. Куделина, в России метод впервые был применен Е. А. Гейнцем в 1903 г.).

Минимальный сток формируется, когда поверхностный сток полностью прекращается (отсутствует снеговое и дождевое питание) и река переходит на подземное питание за счет вод зоны активного водообмена. Несмотря на то, что это приближенная характеристика подземного стока реки, и точное определение подземного стока по минимальному невозможно, так как даже при отсутствии снегового

питания абсолютный минимум всегда меньше подземного стока (он лишь характеризует наиболее устойчивую часть подземного стока), тем не менее данный метод широко применяется. Когда поверхностного стока нет длительное время, запасы подземных вод могут истощиться и река полностью пересыхает. На р. Бодрак практически каждый летний сезон минимальный сток равен нулю, но это не означает, что подземный сток отсутствует. В пойме и низких надпойменных террасах неглубокими колодцами вскрываются воды аллювиальных отложений (глубина до воды около 0,8–1 м, дебит 1–2 л/с).

В те года, когда имелась возможность, измерялись расходы как р. Бодрак, так и ее притоков. В табл. 3 и на рис. 8 представлены данные, полученные в ходе полевых работ летом 2005 г.; на графике (см. рис. 8) показано изменение расхода вверх по течению р. Бодрак. На графике хорошо выделяется пик, который возникает после поступления вод из Московского оврага, где располагается самый крупный источник бассейна р. Бодрак «Вербочки». Область питания источника «Вербочки» находится в зоне развития карбонатных пород нижнего мела, к тому же овраг имеет большую водосборную площадь и достаточную толщину аллювия.

Таблица 3. Изменение расхода р. Бодрак (л/с) вверх по течению реки

Река Бодрак	Расстояние от устья, км	Дата измерений			
		01.07.05	03.07.05	15.07.05	22.07.05
у Большого моста	3,5	80,5	—	73,4	65,9
у моста в Старом поселке	4	26,25	—	19,58	17,4
после ручья из овра. Баклинский	5,1	68,75	—	75,3	37,5
до ручья из Баклинского оврага	5,3	40,47	—	47,2	24,28
после Ленинградского оврага	6,9	82,8	—	93,7	41,2
у водокачки д. Трудолюбовки	7,1	75,8	—	41,9	22,5
после ручья из овра. Московский	7,3	132,3	—	87,5	56,4
до ручья из Московского оврага	7,5	48,7	—	32,4	17,6
у Тещино моста	7,8	31,2	16,9	8,9	3,4
у Постоялого двора	8,1	24,17	16,9	12,7	8,56
брод у Керменов	9	12,2	6	15	—
после ручья из овра. Мангушский	9,4	16,6	—	17	—
до ручья из Мангушского оврага	9,6	10,46	—	8	—
у Карьерного оврага	10,2	—	15,5	9,2	2,6
после Длинного оврага	12,1	—	13	7,9	—

Устойчивый подземный сток в межень — гарантированный минимум естественных ресурсов подземных вод речного бассейна. Характерная особенность крымских рек — прерывистость стока вследствие пересыхания в меженный период, что вызвано как природными условиями, так и высокой антропогенной нагрузкой в летний период времени. Река Бодрак в конце июля обычно пересыхает. На рис. 9 и табл. 4 показаны изменения расходов р. Бодрак в июле 2005 г., где, несмотря на неполноту измерений, заметна динамика уменьшения расхода. Это был благоприятный год для измерений расходов (в июне выпала двойная норма осадков).

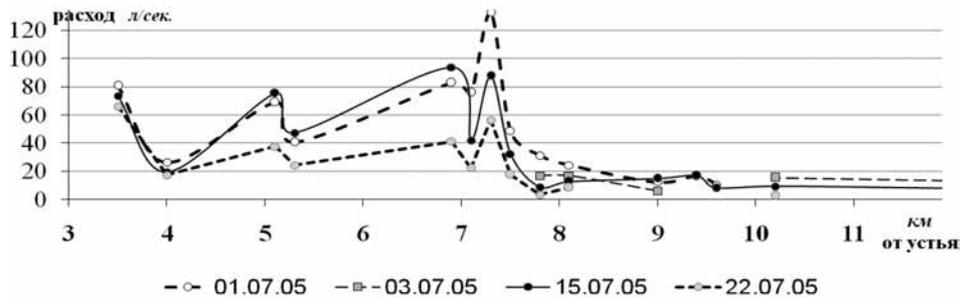


Рис. 8. Изменение расхода р. Бодрак по течению реки (июль 2005 г.)

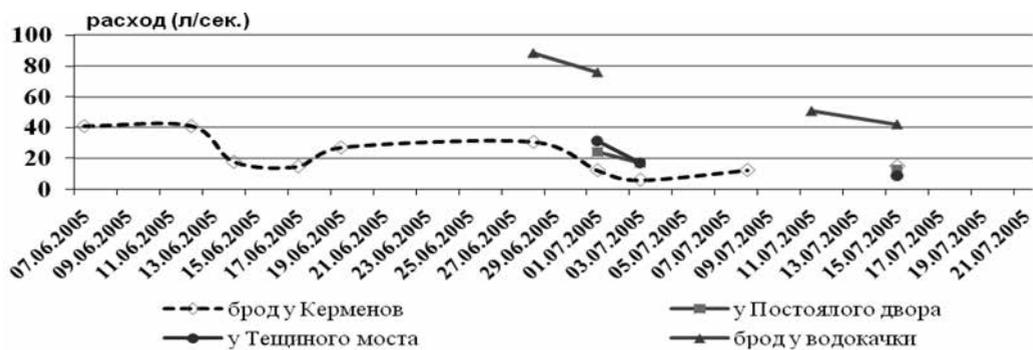


Рис. 9. Изменение расхода р. Бодрак в летний сезон 2005 г.

Таблица 4. Изменение расходов р. Бодрак (л/с), лето 2005 г.

Река Бодрак	07 июня	12 июня	14 июня	17 июня	19 июня	28 июня	01 июля	03 июля	08 июля	11 июля	15 июля	17 июля	22 июля
г. М. Кермен	41,2	41,2	17,8	14,8	27,2	30,8	12,2	6	12,4		15		
Постояльный двор							24,17	16,9			12,7		8,56
Тещин мост							31,2	16,9			8,9		3,4
у водокачки						88,3	75,8			50,6	41,9		22,5

Наряду с гидрометрическими исследованиями р. Бодрак производились полевые натурные измерения притоков воды в водозабор д. Трудолюбовки. Рассмотрим два характерных обследования: с полностью пересохшим руслом р. Бодрак в 2007 г. и в многоводный год лета 2005 г. Водозабор д. Трудолюбовки располагается в аллювии на правом берегу р. Бодрак и представляет собой резервуар глубиной 4,5 м и площадью 45,5 м², куда поступает вода из подруслового потока и за счет родникового стока. В процессе исследования измерялись дебиты питающих водозабор источников и скорость притока воды в резервуар после откачки с последующим вычислением расходов (табл. 5).

Таблица 5. Расчет притоков воды в водозабор д. Трудолюбовки

Приток воды	17.07.2005 г.	24.07.2009 г.
Родниковый сток, м ³ /сут	259	97
Q резервуара, м ³ /сут	657	105
Приток за счет подруслового потока, м ³ /сут	398	7,7

В 2009 г. в июне выпало 34,1 мм осадков, а в 2005 г. — 144,2 мм, причем годовая сумма осадков в предшествующий год в первом случае была ниже среднемноголетней нормы, во втором — наоборот, выше (по данным метеостанции пос. Почтовый). К тому же накануне проведения измерений 16.07.2005 выпало около 36 мм осадков. Это объясняет, почему в 2005 г. родниковый сток почти втрое выше, чем в 2009 г., и почему в 2005 г. приток за счет подруслового потока выше в 50 раз! (см. табл. 5).

Мощность аллювиальных отложений р. Бодрак на участке от Московского оврага до Баклинского оврага варьирует от 4 до 6 метров. Водовмещающими породами являются прослойки песка, гальки, валунно-галечные и гравийные накопления в толщах суглинков и глин. Коэффициент фильтрации примерно 2,5–3 м/сут (по литературным данным). При длине участка 1,5 км и разнице абсолютных отметок подземных вод на границах участка около 30 м, напорный градиент $I = 0,02$. Мощность подруслового потока — около 2–3 м (мощность аллювиальных отложений минус расстояние от поверхности земли до воды в колодцах), ширина аллювиальных отложений около 300 м. Тогда расход подруслового потока в межень, рассчитанный по формуле $Q_{\text{подрусл.}} = k_f \cdot I \cdot F$, составит около 60 м³/сут. Данный расчет сделан в 2007 г., этот год по водности близок 2009 г.

В те периоды, когда р. Бодрак пересыхает, значительно снижаются родниковый сток и расход подруслового потока. Вышеизложенная информация показывает, что меженный сток выступает как показатель подземного стока, однако применять метод меженных гидрометрических съемок для оценки подземного стока данного бассейна не представляется возможным.

Гидрохимический метод

Метод основан на отличиях химического состава подземных и поверхностных вод [7, 11, 12], используется для оценки подземного питания рек. В основе лежат гидрохимические наблюдения за поверхностными и подземными водами. Подземный сток определяется путем решения системы уравнений:

$$Q_r = Q_{\text{подз.}} + Q_{\text{пов.}}$$

$$c_r \cdot Q_r = c_{\text{подз.}} \cdot Q_{\text{подз.}} + c_{\text{пов.}} \cdot Q_{\text{пов.}}$$

где Q_r , $Q_{\text{подз.}}$, $Q_{\text{пов.}}$ — соответственно годовой объем речного, подземного или поверхностного стока; c_r , $c_{\text{подз.}}$, $c_{\text{пов.}}$ — концентрация или минерализация какого-либо компонента в расчетный момент времени в речной воде, подземной или поверхностной. Определения проводятся в периоды устойчивой межени, когда река питается преимущественно подземными водами. Решая систему уравнений, получим: $Q_{\text{подз.}} = Q_r \cdot (c_r - c_{\text{пов.}}) / (c_{\text{подз.}} - c_{\text{пов.}})$.

Увеличение минерализации воды (или концентрации какого-либо компонента) отвечает уменьшению расходов воды и, следовательно, увеличению роли подземного питания. Во вторую половину июля 2005 г. не было осадков. Попробуем использовать данный метод для этого периода. В качестве расчетных показателей для оценки подземного стока выбраны концентрации хлора и гидрокарбонатов в речных, подземных и поверхностных водах и их удельная проводимость:

$$Q_{\text{подз.}} (\text{по Cl}) = Q_{\text{р.}} (0,75 - 0,7) / (1,36 - 0,7); Q_{\text{подз.}} = 0,1 Q_{\text{р.}}$$

$$Q_{\text{подз.}} (\text{по HCO}_3) = Q_{\text{р.}} (5,4 - 3,9) / (7,6 - 3,9); Q_{\text{подз.}} = 0,4 Q_{\text{р.}}$$

$$Q_{\text{подз.}} (\text{по УЭП}) = Q_{\text{р.}} (0,7 - 0,5) / (1,0 - 0,5); Q_{\text{подз.}} = 0,4 Q_{\text{р.}}$$

В створе д. Трудолюбовки расход р. Бодрак, измеренный 22.07.2005, составил 22,5 л/с (1944 м³/сут), если примем $Q_{\text{подз.}} = 0,3 Q_{\text{р.}}$, то подземный сток составит 5 мм/год (для водосборной площади 44 км²).

Морфометрический метод изучения подземного стока

Впервые зависимость стока от высоты речных бассейнов $Y=f(H)$ установил известный гидролог Б. Д. Зайков для трех районов Армении (1933 г.). Изучениями таких зависимостей в горных районах занимались В. К. Давыдов, Л. А. Владимиров, М. И. Львович и многие другие [13, 14], в Горном Крыму — А. Н. Олиферов [6, 15].

При недостатке гидрометрических наблюдений в бассейне р. Бодрак морфометрические методы могли бы позволить устанавливать зависимости стока от высотных характеристик водосбора эмпирическим путем.

Примером эффективного практического применения морфометрического метода послужили исследования подземного стока в условиях горного Мяо-Чана и смежных с ним участков. А. И. Зеленым была выявлена тесная (близкая к функциональной) зависимость между высотными параметрами речных водосборов и средними отметками продольного профиля речных русел, которая представляет собой математическое выражение типовых условий дренирования междуречных массивов различных порядков в различных геологических, структурных и гидрогеологических обстановках.

Зависимость между высотными параметрами речных водосборов ($H_{\text{ср}}$) и средними отметками продольного профиля речных русел ($h_{\text{ср}}$), выявленная А. И. Зеленым, выглядит следующим образом: $H_{\text{в.}} = -0,00085 h_{\text{р.}}^2 + 2,09 h_{\text{р.}} - 54$, что отвечает уравнению параболы на рис. 10, А [16, 17]. Выведенная зависимость дает количественную оценку подземного стока на других слабоизученных территориях.

Фиксируя единство условий дренирования бассейнов разного высотного положения ($H_{\text{в.}} = 170-1300$ м) и разных площадей ($F = 1-41000$ км²) в пределах обширной территории, зависимость $H_{\text{в.}} = f(h_{\text{р.}})$ позволяет подойти к количественной оценке условий дренирования целых ассоциаций речных водосборов [16, 17]. Параметром такой оценки может служить средняя мощность эрозионного вреза как средняя мощность зоны дренирования в речном бассейне: $H_{\text{з.д.}} = H_{\text{в.}} - h_{\text{р.}}$, где $H_{\text{в.}}$ — средняя высота речного водосбора, $h_{\text{р.}}$ — средняя отметка профиля речного русла.

Приведенная на графике связи $H_{в.} = f(h_{р.})$ эмпирическая кривая $H_{з.д.} = \psi(h_{р.})$, отвечающая уравнению $H_{з.д.} = H_{в.} - h_{р.}$ на рис. 10, Б, фиксирует характер изменения мощности зон дренирования в речных водосборах по мере изменения средних отметок речных русел (площадей бассейнов). Величина $H_{з.д.}$ плавно возрастает с приближением к предгорным частям бассейнов рек, достигает максимума в горах и затем быстро снижается к верховьям рек. Кривая $H_{з.д.} = \psi(h_{р.})$ близка к функции гиперболического тангенса, входящего в расчетную формулу подземного питания рек (А. Н. Бефани): $Q_{п.} = \nu \operatorname{th} [a_r (F_{и.}/F - 1)^\varepsilon]$, где ν — норма инфильтрации (мм); F — площадь речного бассейна (км²); $F_{и.}$ — средняя площадь истоков реки (км²); a_r — параметр, зависящий от гидрогеологических условий; ε — параметр, учитывающий интенсивность нарастания подземного питания по мере роста эрозионного вреза. Такие формулы используются для гидрогеологически изученных бассейнов. Используя зависимость $H_{з.д.} = \psi(h_{р.})$, А. И. Зеленой определил объем дренирования речных водосборов разных высотных зон: $V_{з.д.} = H_{з.д.} \cdot F = (H_{в.} - h_{р.}) F = \sum f_i h_i (1 - h_{р.}/H_{в.})$, где $\sum f_i h_i$ — объем бассейна (км³); $V_{з.д.}$ — объем дренируемой зоны бассейна (км³).

Применяя это равенство, А. И. Зеленой выявил важную зависимость между нормой подземного стока ($Q_{п.}$) и объемами дренируемых реками зон речных бассейнов ($V_{з.д.}$), выражающуюся формулой $Q_{п.} = 0,0397 \cdot V_{з.д.}^{0,894}$. График на рис. 10, В может служить основой для массовых расчетов величины подземного стока на аналогичных по геолого-гидрогеологическим условиям территориях.

Территории Приамурья и изучаемого района имеют некоторые общие черты. В питании рек Приамурья также основную роль играют воды дождевых осадков (около двух третей стока). В обоих районах количество осадков регулирует речной

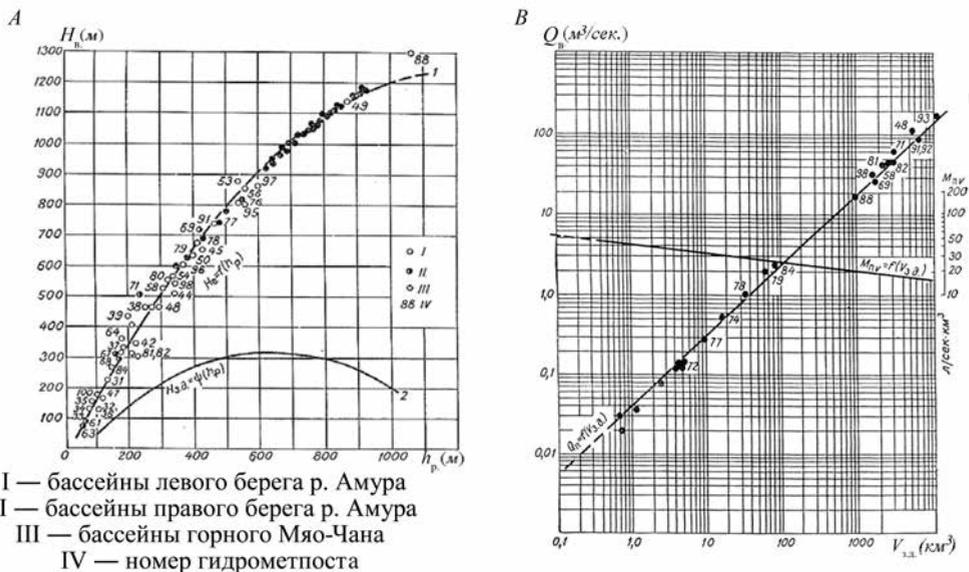


Рис. 10. Зависимости для рек Нижнего Приамурья (А. И. Зеленой, 1969 г.) [16, 17]

А — между средней высотой водосборов ($H_{в.}$) и отметками профиля русел ($h_{р.}$); В — нормы подземного стока в реки ($Q_{п.}$) от объема дренируемой части ($V_{з.д.}$).

сток и на их изменение определяющее влияние оказывают циркуляционные процессы в атмосфере, в обоих районах горы играют важную роль в экранировании осадков. Велик диапазон колебания стока: от полного отсутствия до катастрофических паводков. Дожди вызываются циклонами и являются основной причиной формирования значительных паводков. В обоих районах существует крайне неравномерное и неустойчивое, сильно меняющееся из года в год внутригодовое распределение стока. Подземное питание р. Бодрак осуществляется также за счет трещинно-грунтовых вод. Но существуют и серьезные отличия: количество выпадающих осадков и абсолютные отметки гораздо выше в Приморье, чем в изучаемом районе. Тем не менее при изучении морфометрических характеристик рек западного склона Крымских гор (по данным работ [15, 18, 19]), выяснилось, что все они ложатся на кривую зависимости между средней высотой водосборов ($H_{в.}$) и отметками профиля речных русел ($h_{р.}$) А. И. Зеленого (см. рис. 10, А.).

Используя зависимость на рис. 10, В и характеристики бассейна р. Бодрак (расчеты представлены выше), получим величину подземного стока р. Бодрак, которая составила $9460800 \text{ м}^3/\text{год}$ с площади $76,53 \text{ км}^2$ ($V_{з.д.} = 0,130 \cdot 76,5 = 10 \text{ км}^3$). То есть слой стока по методу А. И. Зеленого на изучаемой территории — $124 \text{ мм}/\text{год}$. Величина для Крыма впечатляющая!

Для того чтобы разобраться в полученных цифрах, была найдена связь меженистого стока и объемов зоны дренирования в зависимости от высотной отметки профиля речного русла для рек западного склона Крымских гор. Были вычислены объемы зон дренирования для основных рек северо-западного склона Крымских гор по данным, имеющимся в справочниках по ресурсам поверхностных вод СССР [15, 18, 19] (табл. 6). Средняя отметка профиля речного русла ($h_{р.}$) определялась по формуле $h_{р,i} = L_i \cdot \cos(i_i/1000)/2$, где L_i — длина от пункта наблюдения до наиболее удаленной точки реки, i_i — средневзвешенный уклон от пункта наблюдения до наиболее удаленной точки.

Так как устойчивый речной сток в межень осуществляется за счет подземных вод, примем данные по меженистому стоку основных рек северо-западного склона [15] за гарантированный минимум подземного стока. Зависимость подземного стока от объема зоны дренирования оказалась несущественной (рис. 11). Подсчитав подземный сток для рек северо-западного склона методом А. И. Зеленого (см. табл. 6), убеждаемся, что эти значения получаются завышенными.

Расположив характеристики основных рек северо-западного склона по возрастанию отметки профиля русла, замечаем, что существует надежная зависимость меженистого стока от объемов зон дренирования для двух групп — с высотной отметкой профиля русла больше 400 м и меньше 400 м (см. табл. 6, рис. 12).

Для первой группы рек и водотоков ($h_{р.} < 400 \text{ м}$) подземный сток, посчитанный по зависимости А. И. Зеленого, оказался примерно в 30 раз выше реального, для второй группы рек ($h_{р.} > 400 \text{ м}$) — в 3 раза. Подземный сток для рек и водотоков северо-западного склона на высотах более 400 м в 10 раз выше, чем на высотах менее 400 м . Это объясняется тем, что в первую группу вошли реки и водотоки северо-западного склона (или участки среднего течения основных рек), почти лишенные карстового питания и пересыхающие в межень, во вторую группу — реки и водотоки, области питания которых находятся на территориях развития карстующихся карбонатных пород. Река Бодрак относится к первой группе. Применив зависимость

Таблица 6. Зависимость меженного стока от морфометрических характеристик для основных рек западного склона Крымских гор

Название реки	Пункт наблюдения	Средняя отметка профиля русла, м	Средняя высота водосбора, м	Отметка пункта, м	Расстояние до наиболее удаленной точки, км	Уклон от удаленной точки (средневзв.), %	Средний расход в межень, м ³ /сек.	Площадь водосбора, км ²	Объем зоны дренирования, V _{зд.}	Q по зависимости А. И. Зеленого	$\frac{Q_{до.А.И.Зел.}}{Q_{межень}}$	Поправочный коэффициент к зависимости А. И. Зеленого
Бельбек	с.Фруктовое	234,82	680	9,7	56	8,04	0,12	493	219,47	4,92	41,0	32
Альма	с.Красноармейское	318,97	500	34	69	8,26	0,1	607	109,89	2,65	26,5	
Черная	с.Чернореченское	330,62	520	14,42	34	18,6	0,043	342	64,77	1,65	38,4	
Кача	с.Комсомольское	345,1	580	19,6	62	10,5	0,14	525	123,32	2,94	21,0	
Марга	с.Верхоречье	359,15	460	229,95	19	13,6	0,006	76	7,66	0,25	40,9	
Бельбек	п.Куйбышево	380,59	730	145,69	27	17,4	0,11	270	94,34	2,31	21,0	
Альма	п.Почтовое	413,48	520	187,98	41	11	0,019	300	31,96	0,88	46,2	
Альма	с.Карагач	459,43	540	238,93	35	12,6	0,123	249	20,06	0,58	4,7	
Черная	с.Родниковское	480,13	730	255,13	12	37,5	0,099	47,6	11,89	0,36	3,7	
Черная	у г.Кизил-Кая	503,29	600	217,34	19	30,1	0,076	197	19,05	0,55	7,3	
Кача	с.Баштановка	509,12	600	156,32	36	19,6	0,21	321	29,17	0,81	3,9	
Кача	с.Загорское	661,42	800	306,52	21	33,8	0,16	110	15,24	0,45	2,8	
Альма	госзаповедник	675,46	810	457,71	13	33,5	0,099	39,7	5,34	0,18	1,8	
Бельбек	с.Счастливое	751,45	840	361,45	7,5	104	0,12	44	3,90	0,13	1,1	
Стиля	с.Лесниково	861,74	870	458,94	7,6	106	0,005	8,8	0,07	0,00	0,8	
Коккозка	с.Голубинка	873,92	910	207,92	18	74	0,087	83,6	3,02	0,11	1,2	

Примечание. Таблица составлена по материалам сборников [13, 15, 18, 19].

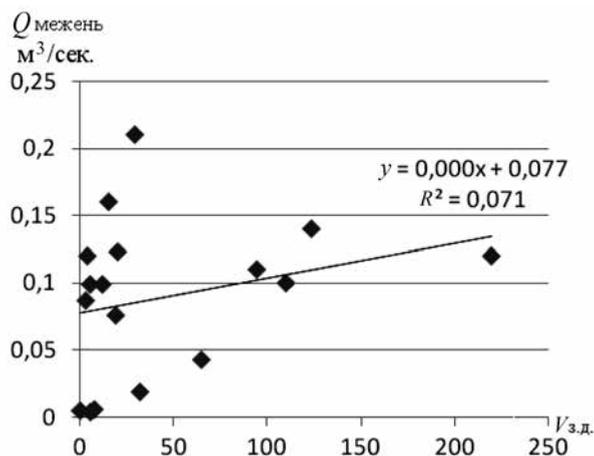


Рис. 11. Связь меженного стока с объемом зоны дренирования

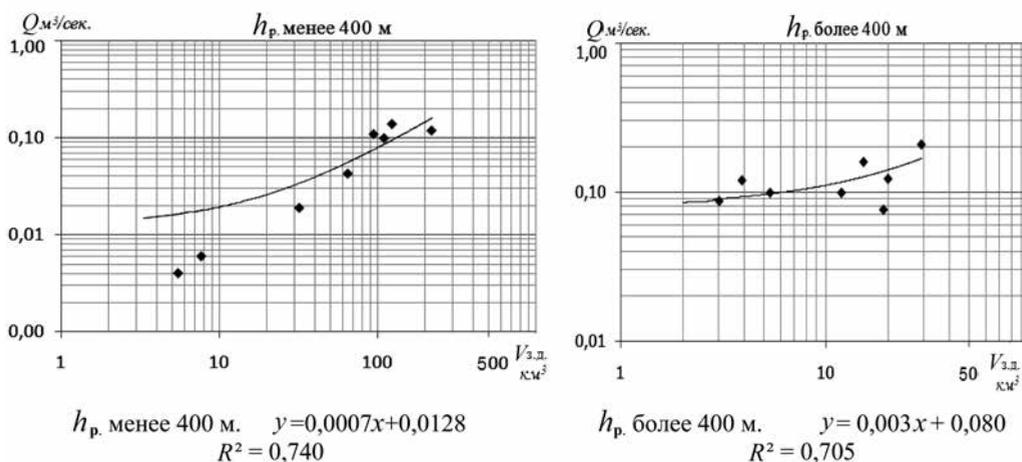


Рис. 12. Связь меженного стока и объемов зоны дренирования в зависимости от высотной отметки профиля речного русла для рек западного склона Крымских гор

А. И. Зеленого с поправочным коэффициентом, получим модуль подземного стока равным $0,01 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (или 4 мм слоя в год).

Заключение

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.

В табл. 7 представлены результаты оценки подземного стока, полученные разными методами. Основной отрицательной чертой проведенных исследований является их сезонность (при изучении подземного стока в реки для оценки естественных ресурсов необходимо использовать среднегодовые значения), к положительным моментам относятся простота и дешевизна примененных методов.

Считается, что метод оценки по дебитам источников позволяет учесть только часть разгрузки подземных вод, лишь его родниковую составляющую, и слой подземного стока, полученный этим методом, будет выше 5 мм/год. Однако изучаемый водосборный бассейн находится в области активного водообмена, и зона замедленного водообмена играет подчиненную роль в формировании речного стока. По материалам гидрохимической съемки, подземное питание р. Бодрак составляет 5 мм слоя в год, морфометрический метод дает нам 4 мм слоя в год (см. табл. 7).

Таблица 7. Сравнение результатов оценки подземного стока

Сток	Оценка по дебитам источников	Метод межлетних гидрометрических съемок	Гидрохимический метод	Морфометрический метод
Слой подземного стока (мм/год)	>5	—	5	4

Изучаемая территория отличается высокими скоростями водообмена неглубоко залегающих подземных вод. Режим р. Бодрак имеет временной сдвиг около двух месяцев по сравнению с ходом атмосферных осадков; летний межлетний сток р. Бодрак осуществляется, главным образом, за счет осадков зимне-осенних месяцев и оценивается примерно в 4 мм слоя в год.

Малые реки, к которым относятся реки Крымского предгорья, чутко реагируют как на климатические изменения (и глобальные, и региональные), так и на хозяйственную деятельность человека в пределах водосбора. В условиях недостаточного увлажнения бесконтрольная эксплуатация водных объектов в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения неизбежно приводит к трансформациям их количественных и качественных характеристик.

Оценка подземного стока имеет важное социальное и хозяйственное значение. Углубленное изучение подземного стока в бассейне р. Бодрак вызвано необходимостью уточнения водобалансовых элементов, необходимых для оценки местных водных ресурсов, и обоснования конкретных мероприятий по оптимизации водопользования на данном водосборе. Это обеспечит грамотное управление водными ресурсами территории и рациональное планирование водохозяйственной деятельности в бассейне реки, а также подготовку различных водохозяйственных рекомендаций.

* * *

Автор выражает благодарность студентке К. Сучковой, которая выполнила большой объем гидрометрических работ в рамках производственной практики 1995 г.

Литература

1. 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).
2. Каюкова Е. П. Мезоклимат полигона Крымской геологической практики и современные тенденции его изменения // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2010. Вып. 4. С. 32–46.
3. Каюкова Е. П., Чарыкова М. В. Особенности химического состава подземных и поверхностных вод полигона Крымской учебной практики геологического факультета СПбГУ // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2010. Вып. 3. С. 29–47.
4. Никитин М. Ю., Болотов С. Н. Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ: учебное пособие. Ч. 1. М.: Изд-во МГУ, 2006. 135 с.
5. Юдин В. В. Геологическая карта и разрезы Горного, Предгорного Крыма. Масштаб 1:200000. Крымская Академия наук, Союзкарта. Симферополь, 2009.
6. Олиферов А. Н., Тимченко З. В. Реки и озера Крыма. Симферополь, 2005. 216 с.
7. Овчинников А. М. Общая гидрогеология. М., 1955. 390 с.
8. Климат и опасные явления Крыма / под ред. К. Т. Логвинова, М. Б. Барабаш. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
9. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым / под ред. М. И. Цукановой. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
10. Куделин Б. И. Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек // Тр. Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского. М.: АН СССР, 1949. Т. 5. 179 с.
11. Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова-Ерофеева С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии. М.: Недра, 1985. 412 с.
12. Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. Л.: Недра, 1972. 184 с.
13. Водные ресурсы и баланс вод Украины и Молдавии // Труды УкрНИГМИ. Вып. 64. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 208 с.
14. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., 1974.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрогеологические характеристики. Т. 6. Украина и Молдавия / под ред. М. М. Айзенберга, М. С. Каганера. Вып. 4. Крым. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.
16. Зеленой А. И. О морфометрическом способе изучения и картирования подземного стока в реки Нижнего Приамурья // Труды гос. гидрологического института. М.: Гидрометеиздат, 1969. Вып. 166. Исследование подземного стока. С. 161–169.
17. Зеленой А. И. Об оценке подземного стока горного Мьяо-Чана и смежных с ним районов Нижнего Приамурья // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. М.: Изд-во МГРИ, 1969. № 3. С. 124–129.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрогеологическая изученность. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Крым и Приазовье. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 127 с.
19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрогеологические характеристики. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 245 с.

Статья поступила в редакцию 30 декабря 2014 г.

Контактная информация:

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

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