

ОЦЕНКА ПОДЗЕМНОГО СТОКА РЕК ГОРНОГО КРЫМА НА ОСНОВЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Предложен методический подход к определению подземного притока в русла рек Горного Крыма на основе данных о гидрометрических наблюдениях. Приток подземных вод, оцененный по данным о стоке межени, рассматривается как базисный сток рек. Для установления общего подземного притока используется связь базисного стока с подземным стоком, полученным при расчленении гидрографов.

Ключевые слова: *подземный сток, базисный сток, гидрометрические данные*

Введение. Неотъемлемой частью гидрологических проектов является оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод с целью расчета и прогноза возможных его изменений при осуществлении различных водохозяйственных мероприятий. Количественная оценка подземной составляющей речного стока является одновременно гидрологической и гидрогеологической задачей при проектировании использования суммарных (общих) водных ресурсов [2,5,7]. Пространственная дискретность формирования подземного притока в реки в первую очередь определяется различными уровнями дренирования водоносных пластов. Согласно генетической теории формирования суммарного стока рек, предложенную А.Н. Бефани [2], косвенными характеристиками дренирования водоносных пластов руслом реки могут служить так называемые критические площади водосборов. В обычных условиях по мере нарастания водосборной площади происходит постепенное увеличение эрозионного вреза русла реки, а значит, и возрастание степени дренирования основных водоносных горизонтов подземных вод, т.е. происходит увеличение подземного притока в русло реки. Такой подход успешно применялся для определения ненарушенной хозяйственной деятельностью подземного притока равнинных и горных (Карпаты) рек Украины, недостаточно изученных с точки зрения продолжительности гидрологических наблюдений [2]. Однако, для территории Крымского полуострова, где основная часть водных ресурсов формируется в горах, такой подход неприемлем из-за влияния карста [4,6,9,10].

Крымский полуостров находится в области действия двух артезианских бассейнов – Равнинно-Крымского артезианского бассейна и гидрогеологической области Горного Крыма. Горные породы Крыма относятся к числу легко растворимых известняков, поэтому в земной поверхности образуются различного рода полости – пещеры, каналы, воронки, естественные шахты и колодцы. Известняки разбиты трещинами и пронизаны карстовыми пустотами – понорами, каналами, пещерами и т.д., по которым атмосферные осадки проникают вглубь закарстованных массивов, образуя карстовые воды. Известняки закарстованы вплоть до подстилающих их глинистых сланцев. В основном, они расположены выше уровня Черного моря. Закарстованные толщи крутыми обрывами выходят на побережье Черного моря, на северных склонах они прорезаются многочисленными долинами и ущельями.

В Горном Крыму, преимущественно в западной его половине, яйлинские массивы, куда не заходят даже верховья эрозионных систем, являются бессточными областями [1,3,9]. Плоский рельеф яйл, сложенный известняками, и наличие замкнутых понижений способствуют интенсивной фильтрации осадков в глубокие водоносные горизонты и последующему их накоплению в толще карстовых пород. Территории, где поверхностный сток поглощается карстовыми образованиями, образуют “области

питания карста". Выход карстовых вод в русло реки образует в пределах водосборов область разгрузки. В связи с несовпадением поверхностного и подземного водосборов рек возможно перераспределение запасов подземных вод между соседними водосборами.

По исследованиям С.В. Альбова [1] основным источником, обеспечивающим приток подземных вод в реки Горного Крыма, являются воды верхнеюрских отложений. Это основной водоносный горизонт Горного Крыма [8]. Толща закарстованных карбонатных пород верхней юры является основным коллектором большого количества атмосферных осадков, выпадающих в пределах Главной Горной Гряды. Закарстованные известняки поглощают атмосферные воды и после их некоторой циркуляции по пустотам выходят на дневную поверхность в виде родников. Очень часто для характеристики подземного притока используется дебит карстовых источников. (Количество воды, получаемое в единицу времени из источника, называется его дебитом или расходом). Однако, представленный в виде модульного коэффициента стока, он не может использоваться как показатель стока реки, так как фактическая площадь подземного водосбора, питающего источник, неизвестна [4,10].

Главная гряда и ее склоны составляют единую гидрогеологическую систему, в которой вершины, яйловые плато и верхние части склонов являются областью питания подземных вод, в средней части склонов происходит накопление карстовых вод, а нижние части склонов Главной гряды находятся в области разгрузки карстовых вод. Принадлежность водосбора к тому или иному карстовому району не исключает перехода стока подземным путем из бассейна одной реки в бассейн другой. Например, сток реки Биюк - Узенбаш выходит в виде родника в бассейне р.Кучук – Узенбаш у с.Ключевого. Это же явление имеет место в бассейнах рек Хастабаш, Шаан-Кая за счет бассейна р.Бельбек, в бассейне р.Черной за счет вод бассейна р.Бельбек, в бассейне р.Учкош-Дерекойка за счет бассейна р.Авунды, в бассейнах рек южного склона за счет рек Альмы и Качи, в бассейне Альмы за счет р.Салгир, в бассейне р.Краснопещерной за счет р.Малый Салгир, в бассейне р.Биюк-Карасу за счет вод р.Салгир [8]. Родник Карасу-Баши, расположенный у подножия северных склонов Караби-Яйлы дает начало р.Биюк-Карасу (бассейн р.Салгир), родник Скельский – начало р.Черной. Родники Северного склона дают начало рекам Бельбек, Кача, Альма и их притокам. Родники, питающие эти реки, имеют среднемноголетний расход до 1500 л/сек. Восточнее Караби-Яйлы верхнеюрские отложения дают начало родникам с незначительным дебитом 0,2 -0,5 л/сек. Из карстовых родников южных склонов Горного Крыма наиболее известен родник Хаста –Баш, Массандровский водопад и водопад Джур-Джур (р.Восточный Улу-Узень), расположенный на южном склоне горы Демерджи. Начало наиболее крупным рекам Южного берега Крыма: Учан-Су, Дерекойка, Авунда, Путамис, Улу-Узень, Демерджи, Восточный Улу-Узень, Ускут, Таракташ, Огуз дают крупные карстовые источники [9]. Реки северо-восточных склонов Главной Гряды (Восточный Булганак, Мокрый Индол, Сухой Индол, Чорох-Су) питаются за счет мелких источников. В целом на территории Горного Крыма преобладают родники с небольшими расходами. По подсчетам И.Г. Глухова [2] общее количество родников с расходами воды менее 0,2 л/сек составляет 51%, а более 10,0 л/сек – 3,7%, но последние дают 83% общего притока от родников. В данных, приведенных в [9], указывается, что наибольший приток подземных вод в реки имеет место на р. Черной (10,8 млн.м³ в год), второе место по объему притока подземных вод занимает р.Биюк-Карасу (8,65 млн.м³ в год), принадлежащая бассейну р.Салгир, третье – р.Альма (2,69 млн.м³ в год).

Сложность оценки взаимодействия поверхностных и подземных вод для территории Горного Крыма определяется недостаточностью данных о величине подземного и поверхностного притока в реки. Из-за пространственного

перераспределения подземных вод карстом, в нормативных документах [7] не приведены обобщения суммарного стока в виде зависимостей норм годового стока от высоты местности. Исследование закономерностей распределения стока с высотой, обусловленное климатическими факторами, а также количественная оценка влияния карста на годовой сток выполнены в работе [6], где норма стока рассчитана по уравнению водно-теплового баланса с использованием метеорологических данных. Количественная оценка роли карста в формировании подземного стока рек, а также расчет подземного притока в реки является нерешенной задачей и в настоящее время.

Целью данного исследования является количественная оценка годового притока подземных вод в реки Горного Крыма, выполненная на основе гидрометрических методов.

Материалы и методы исследования. В гидрологической практике для оценки подземной составляющей речного стока используют следующие способы и приемы: метод водного баланса, кривые истощения запасов подземных вод, исследование приращения меженных расходов между двумя створами, установление связей стока с осадками, расчет по минимальным расходам, расчленение гидрографа общего речного стока и др. [7].

Среди гидрометрических методов определения подземного питания рек наибольшее распространение получили методы расчленения гидрографов суммарного стока рек. Под суммарным или общим стоком в дальнейшем подразумевается сток, образованный как поверхностным, так и подземным притоком воды в русло. Теоретически обоснованный метод расчленения гидрографов общего речного стока и расчет подземной составляющей должны базироваться на гидродинамическом анализе закономерностей подземного стока из всех водоносных горизонтов зоны дренирования и учете гидрогеологических условий конкретных речных бассейнов. Таким методом является комплексный гидролого-гидрогеологический метод генетического расчленения гидрографа общего стока рек, разработанный и теоретически обоснованный Б.И. Куделиным (1966). Различный характер гидравлической связи подземных и речных вод, определяющий режим подземного стока в реку из дренируемых водоносных горизонтов, обуславливает разные схемы расчленения гидрографов общего стока рек.

Методика расчленения гидрографов рек для различных случаев взаимосвязи поверхностных и подземных вод сводится к следующему.

А). Расчленение гидрографа реки, питающейся из водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с рекой. Подземные воды, гидравлически не связанные с рекой, обладают режимом и фазами стока, близкими к поверхностному стоку. Они отличаются лишь тем, что пик подземного стока выражен менее ярко, и наступает он несколько позже, чем пик речного половодья.

Б). Расчленение гидрографа общего стока реки, питающейся из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой. Подземный сток в реку из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой, характеризуется подпорным типом режима, при котором в периоды прохождения половодья или паводков подземное питание уменьшается и на пике половодья может быть равным нулю.

В). Расчленение гидрографа реки при смешанном ее питании из водоносных горизонтов, гидравлически связанных и гидравлически не связанных с рекой. Расчленение гидрографа реки в этом случае производится в два этапа. Вначале на гидрографе выделяют величину подземного стока из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой. Затем на нижнюю часть выделенного отрезка накладывают подземный сток из водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с рекой.

Г). Расчленение гидрографа общего стока реки при смешанном грунтовом и артезианском питании. В этом наиболее сложном случае взаимосвязи подземных и поверхностных вод расчленение гидрографа общего речного стока реки проводится в три этапа. Сначала на гидрографе реки выделяется грунтовый сток из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой. Затем на нижней части расчлененного гидрографа выделяется подземный сток из водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с рекой. Ниже этой части грунтового стока выделяют подземный сток из водоносных горизонтов напорного характера (артезианское питание).

Для реализации основных принципов оценки подземного притока в реки на основании расчленения гидрографов речного стока в практике гидрологических и гидрогеологических работ используются и упрощённые схемы.

При использовании упрощённых схемы расчёта принимаются условные показатели динамичности подземного стока в реки, в период половодья и паводков, определяемые по соотношению расходов воды в реки до и после паводков (“срезка”), по суммарному коэффициенту динамичности стока (отношения наибольших величин подземного стока к наименьшей за характерные периоды) в период максимума подземного притока в реки или учётом сокращения притока при береговом регулировании за указанные периоды и т.п. К упрощённой схеме расчёта относится и способ расчёта подземного притока по величинам минимальных расходов воды рек в период зимней и летней межени.

Во всех детальных и упрощённых способах расчёта подземного притока в реки основой, обеспечиваемой гидрологической информацией, являются характерные расходы воды рек, принимаемые за суммарный подземный приток.

Модуль минимального стока может рассматриваться как эквивалент подземного питания реки [2]. Межень – фаза водного режима реки, ежегодно характеризующаяся малой водностью. Межень, как правило, возникает в период отсутствия снегового и дождевого питания, т.е. в эту фазу водности основным источником питания реки является приток подземных вод. Именно по этой причине характеристики стока меженного периода используются для оценки подземной составляющей общего стока рек. Наименьшие по величине значения стока, наблюдающиеся в период межени, носят название минимального стока. Характеристиками минимального стока являются – минимальный средний месячный сток за период межени, минимальный 30-ти суточный сток за период межени, минимальный среднесуточный сток за период межени [9].

Внутригодовой режим стока рек Крыма характеризуется двумя хорошо выраженными периодами: паводочным стоком (зима и весна) и межнным (лето и осень) [8]. Согласно классификации Б.Д.Зайкова реки Крыма относятся к рекам с паводочным режимом (паводки наблюдаются преимущественно в зимне-осенний период). Непосредственно зимней межени на реках Крымского полуострова, как правило, не наблюдается, что обусловлено формированием частых зимних оттепелей. Продолжительность меженного периода составляет три месяца лета (VI-VIII) и три месяца осени (IX-XI). Паводки в период межени являются нерегулярными. Сток летнего сезона составляет в среднем 12% от годового, а осеннего – 9%. Исследования внутригодового распределения стока для различных рек Крыма показало, что оно одинаковое вне зависимости от района.

Согласно данным З.В.Тимченко [9] наименьшие расходы воды на закарстованных реках наблюдаются в августе-сентябре. В этот период происходит истощение запасов подземных вод. На незакарстованных реках наименьшие расходы летней межени формируются в более ранние сроки (июле и даже июне). Межненный период для некоторых рек характеризуется пересыханием.

В связи с тем, что зимняя межень на реках Крыма практически отсутствует, характеристики минимального (меженного) стока определяют за межень периода открытого русла и периода с ледовыми явлениями. Поскольку ледовые явления на реках Крыма наблюдаются крайне редко, то для оценки подземного притока использовались имеющиеся ряды 30-ти суточных расходов за период межени с открытым руслом по 10 водосборам Горного Крыма (табл.1). Также использован метод оценки подземного притока, базирующийся на расчленении гидрографов (метод срезки).

Результаты исследования и их анализ. Оценка статистических параметров подземного стока на основе данных о минимальном 30-ти суточном стоке выполнена при помощи метода моментов. Полученные параметры могут быть использованы для характеристики устойчивого (базисного) подземного притока в реки, который формируется за счет глубоких водоносных горизонтов. Наибольшие значения подземного притока для рассмотренных водосборов отмечаются в створах р.Альма – Крымгосзаповедник ($\bar{Y}_{баз}=72$ мм) и р.Дерекойка – г.Ялта ($\bar{Y}_{баз}=63$ мм), где $\bar{Y}_{баз}$ - средняя многолетняя величина базисного подземного стока. Наименьший подземный приток характерен для реки северо-восточных склонов Горного Крыма (р. Су-Индол - с.Тополевка, $\bar{Y}_{баз}=4$ мм), где дебит карстовых источников значительно ниже, чем на северо-западных и юго-западных склонах. Малый подземный приток наблюдается в нижнем течении р. Черной (створ р.Черная – с.Чернореченское), где средняя многолетняя величина подземного притока составляет 2 мм. Уменьшение притока подземных вод при выходе в предгорные и равнинные части полуострова связано с тем, что основная часть карстовых источников, питающих реки, находится высоко в горах. По мере перехода на равнину, принадлежащую подзоне южной засушливой степи, роль питания рек за счет карстовых вод уменьшается, при этом глубина залегания водоносных горизонтов, а, следовательно, и их недоступность для дренирования, увеличивается. На многих равнинных и горных реках подземное питание растет с ростом площади водосбора, но отличительные климатические и гидрогеологические условия Горного Крыма обуславливают индивидуальность и неповторимость формирования как поверхностного, так и подземного стока большинства его рек. Точность расчета средних многолетних величин стока по имеющимся рядам минимального стока находится в пределах 20%.

Изменчивость подземного базисного стока в многолетнем разрезе характеризуется коэффициентом вариации $Cv, баз$, который изменяется в пределах от 0,48 (р.Альма – Крымгосзаповедник) до 1,91 (р.Улу Узень – с.Солнечногорское).

Для определения коэффициента вариации $Cv, баз$ базисного подземного стока на основе метода множественной регрессии с пошаговым выбором предикторов (площадь водосбора, средняя высота водосбора, залесенность, распаханность, среднемноголетний базисный сток) получено уравнение вида

$$Cv, баз. = 1,67 - 0,5141 \lg \bar{Y}_{баз.}; r = 0.72, \quad (1)$$

где $\bar{Y}_{баз}$ - средняя многолетняя величина подземного базисного стока;

r - коэффициент корреляции.

Коэффициент асимметрии рассчитан по наблюдаемым данным с большой погрешностью. Для практического использования определено соотношение Cs/Cv . Анализ пространственной дисперсии этого соотношения и его составляющих [5] (географической и случайной) позволил установить, что пространственная дисперсия

полностью определяется ошибками расчета по наблюдаемым выборкам, т.е. случайная составляющая пространственной дисперсии C_s/C_v равна 100%. Это позволило выполнить осреднение C_s/C_v в пределах рассматриваемой территории и в последующих расчетах принимать его равным 2.

Расчленение гидрографов стока рек Крыма было выполнено на основе упрощенной схемы расчета с использованием метода “срезки” для характерных по водности лет (максимального, среднего и минимального по водности года). Для этих же лет вычислялся коэффициент подземного питания ($K_{ПНТ}$), представляющий собой соотношение между подземным притоком в реку и величиной суммарного стока за год. Данный коэффициент показывает роль подземных вод в формировании речного стока. Средние многолетние значения подземного притока, полученные при расчленении среднего по водности года, характеризуют производительность водоносных пластов или питание подземных вод зоны интенсивного водообмена.

Сравнение данных о подземном стоке, полученных в результате расчленения гидрографов за средние по водности годы, и данных о базисном стоке показало, что подземный годовой сток значительно превышает базисный (рис.1).

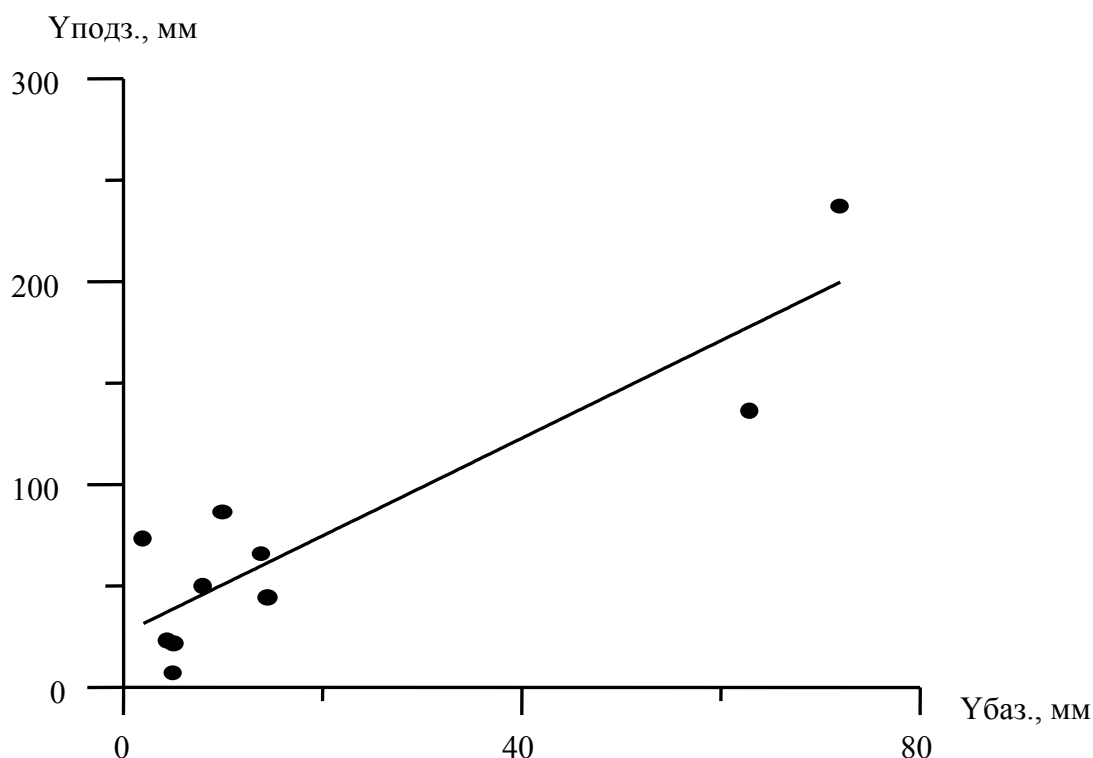


Рис. 1 – Сравнение среднееголетних величин базисного подземного стока и среднееголетних величин подземного стока, полученных на основе расчленения гидрографов за средний по водности год.

Это объясняется тем, что в период весеннего половодья или дождевых паводков происходит сработка запасов карстовых вод из крупных полостей и каналов, что, в конечном итоге, приводит к значимому увеличению подземного стока за год.

По окончании половодья и паводка сработка продолжается, но разгружаются в русло реки воды каверн и трещин. В период устойчивой межени разгружаются мелкие трещины и поры. Как правило, на закарстовых реках минимальный сток всегда стабилен. По замечанию В.Н. Дублянского [4,10] карст крымских рек не выполняет

роль значительной регулирующей емкости и в фазы снегодождевых и дождевых паводков изменения подземного стока происходят таким же образом, как и на незакрстованных водосборах. Механизм “сработки” карстовых емкостей до настоящего времени не изучен полностью.

Связь между базисным подземным стоком и подземным стоком за годовой период может быть описана уравнением вида

$$\bar{Y}_{ПОДЗ.} = 2,46\bar{Y}_{баз.} + 24,0; r = 0,90, \quad (2)$$

где $\bar{Y}_{ПОДЗ.}$ - средняя многолетняя величина подземного стока за год, мм;

$\bar{Y}_{баз.}$ - средняя многолетняя величина базисного стока за год ($\bar{Y}_{баз.} = 31,54\bar{q}_{баз.}$).

Поскольку между подземным стоком рек, полученным в результате расчленения гидрографов, и базисным стоком существует линейная связь, для расчета коэффициентов вариации можно использовать зависимость (1). Отношение C_s/C_v принимается равным 2.

Коэффициент подземного питания закарстованных рек северо-западных и юго-западных склонов изменяется от 0,45 до 0,50. При выходе закарстованных рек на равнину коэффициент стока снижается до 0,38 – 0,16. Для рек, питающихся за счет карстовых источников с небольшим дебитом, коэффициент стока равен 0,20-0,27 (табл.1).

Таблица 1 – Статистические параметры подземного стока за год

Река – пост	F, км ²	H _{СР} , м	\bar{Y} , мм	K _{ПИТ}	C _v
р.Альма–Крымгосзаповедник	39,7	810	237	0,47	0,45
р.Кача – с. Баштановка	321	600	65,7	0,49	0,74
р.Бельбек – с. Фруктовое	493	680	21,5	0,16	0,99
р.Черная - у горы Кизил Кая	197	600	49,5	0,50	0,80
р.Черная–с.Чернореченское (с.Хмельницкое)	342	520	72	0,44	0,72
р.Дерекойка – г. Ялта	49,7	730	136	0,53	0,57
р.Улу-Узень– с.Солнечногорское	32,5	530	86,2	0,24	0,68
р.Су-Индол– с.Тополевка	71	820	22,9	0,27	0,97
р.Салгир – с.Пионерское	261	750	43,9	0,38	0,83
р.Биюк-Карасу – с.Зыбины	601	410	16,4	0,25	1,05

Выводы. Ввиду отсутствия данных о стоке подземных вод Горного Крыма в фондовой литературе, оценка подземного притока отдельных рек Крыма была выполнена приближенным методом (по данным о 30-ти суточных расходах за период межени) и на основе расчленения гидрографов стока. Подземный приток в реки, рассчитанный приближенным методом, характеризует так называемый базисный сток, т.е. подземный сток, обеспечиваемый глубоко расположенными водоносными горизонтами. На основе расчленения гидрографов получают данные о подземном притоке как в меженный период, так и периоды паводков и половодий. Во время

снегодождевых и дождевых паводков происходит интенсивное пополнение запасов карстовых вод и осуществляется интенсивная “сработка” крупных карстовых полостей, в последующем в реку разгружаются более мелкие карстовые образования.

Для практического использования рекомендованы зависимости, позволяющие выполнять расчет статистических параметров подземного стока, используя сведения о минимальном 30-ти суточном стоке межени, которые публикуются в справочной гидрометеорологической литературе.

Список литературы

1. Альбов С.В. Пресные воды Крыма и их использование. – Издательство Академии Наук УССР. – 1965.- 31с.
2. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. - Научный ежегодник ОГУ. - Одесса. - 1957. - 125 с.
3. Глухов И.Г. Периодические колебания подземного стока и предсказание расходов источников в летнее время // Тр. лаб. Гидрогеол. пробл. – М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – Т. III.
4. Дублянский В.Н. , Дублянская Г.Н. Карстовая республика (карст Крыма и его проблемы). – Симферополь: КАН. – 1996. – 85 с.
5. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами.- М. Наука,1982. – 271 с.
6. Нгуен Ле Минь, Лобода Н.С. Оценка вклада карстовых вод в формирование годового стока рек Горного Крыма с использованием метеорологической информации // Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса. - 2004. – Вип. 48. - С. 425 – 434.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеоиздат,- 1984. - 447с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия / Под ред.М.М. Айзенберга, М.С. Каганера. – Л.:Гидрометеоиздат. – 1966. – Т.6, Вып.4. – 344с.
9. Тимченко З.В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. – Симферополь. – Доля. – 2002. – 151с.
10. Устойчивый Крым. Водные ресурсы. - Симферополь: Таврида, 2003. – 413с.

Оцінка підземного стоку річок Горного Криму за гідрометричними даними.

Лобода Н.С., Шаменкова О.І., Довженко Н.Д.

Запропонований методичний підхід до визначення підземного припливу до русел річок Гірського Криму за даними гідрометричних спостережень. Приплив підземних вод, оцінений за мінімальним стоком межени, розглядається як базисний стік. Для визначення загального підземного припливу використаний зв'язок базисного стоку із підземним стоком, отриманим при розчленуванні гідрографів.

Ключові слова: *підземний стік, базисний стік, гідрометричні дані*

An evaluation of underground runoff of Mountainous Crimea rivers with using of hydrometric data

Loboda N.S., Shamenkova O.I., Dovzhenko N.D.

An methodical approach was proposed to determine an underground inflow in Mountainous Crimea river-beds on hydrometric data. An underground inflow estimated on minimal of mean water runoff data was considered as base flow. The connection between base runoff and the underground runoff, calculated by dismembering of flow hydrograph, was using for determination of annual underground runoff.

Keywords: *underground flow, base flow, hydrometric data*