

ВОДНЫЙ БАЛАНС КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ КУБЫ

© 2020 г. З. К. Иофин*

Вологодский государственный университет, Вологда, Россия

*e-mail: pirit35@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.06.2019 г.

После доработки 13.01.2020 г.

Принята к публикации 30.01.2020 г.

В статье для оценки влияния карста на слой инфильтрации использован подход, опирающийся на генетическую теорию стока, разработанную А.Н. Бефани, которая при рассмотрении водного баланса во многом базируется на условиях впитывания влаги в почву. Для учета влияния карстовых образований на гидрологические характеристики использованы параметры слоя задержания после окончания стока в замкнутых понижениях, включающего как часть поверхностного стока, так и влагу, задержанную карстовыми емкостями. Показана графическая зависимость емкости карстовых пустот, занятых водой, от слоя инфильтрации. Такая зависимость открывает возможность оценки влияния карстовых образований на слой инфильтрации и, соответственно, на слой стока и водный баланс. Выполненный анализ позволил количественно, хотя и ориентировочно, оценить влияние карста на слой инфильтрации. Выводы работы следует считать предварительными из-за небольшого количества водосборов рек, участвовавших в анализе.

Ключевые слова: карстовые образования, инфильтрация, водный баланс, влияние карста на водный баланс, линейно-корреляционная модель водного баланса, поверхностное задержание стока на водосборе

DOI: 10.31857/S2587556620030073

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Тема воздействия карста на изменение гидрологических характеристик рек изучена недостаточно, в чем повинна слабая гидрологическая изученность карстовых рек и методические трудности учета влияния карста. Изучение карста и его влияния на речной сток затруднен в связи с многофакторностью образований карста. Здесь имеет место чередование карбонатных и некарбонатных пород, задернованного и покрытого карста, стратиграфическое распределение карбонатных пород по отношению к некарбонатным, одновременное развитие карстовых областей в горизонтальном и вертикальном направлениях и т.д.

Основной причиной слабой изученности влияния карста на гидрологические параметры является неоднородность закарстованных массивов.

Исследованием влияния карста на сток занимались многие ученые. Назовем наиболее известные работы. Подход Г.Н. Гигинейшвили [5] заключается в учете соотношения $\frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_3}$, которое, по его мнению, отражает степень влияния карста на режим стока. Здесь σ_{ϕ} – среднее квадратическое отклонение среднемесячных от среднегодовых расходов воды:

$$\sigma_{\phi} = \frac{\sigma_Q \times 100}{\bar{Q}} = \frac{100}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{\sum (\bar{Q} - Q_i)^2}{12}}. \quad (1)$$

Выражение (1) является не чем иным, как коэффициентом вариации среднемесячного стока, который во многом в условиях тропиков определяется равномерностью покрытия ливнем исследуемой территории. Учитывая, что в среднемголетнем разрезе для восточных провинций Кубы существует определенная закономерность в распределении по территории атмосферных осадков, такой подход для нормы стока, на наш взгляд, может быть принят. Однако нельзя не отметить, что в анализе $\frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_3}$ будут участвовать реки

разных размеров, а, следовательно, и разных коэффициентов вариации C_V . Следовательно, в коэффициенте вариации будет присутствовать доля размера водосбора, поэтому выделить влияние карста на сток весьма затруднительно.

Работы В.А. Балкова [2] основаны на учете влияния карста на минимальный сток. Увеличение или уменьшение минимального стока карстовых рек на фоне рек без карста, по его мнению, и есть реакция влияния карста на сток.

Огромный вклад в основы карстоведения заложил Г.А. Максимович [12]. В его двухтомнике отмечается, что “в гидрогеологической истории Земли можно отмечать четыре основные эры развития коллекторов: трещинную, поровую, карстовую и антропогенную”, каждой эре им дана характеристика. Так, антропогенная эра развития коллекторов характеризуется возникновением искусственных полостей в земной коре. Г.А. Максимович предложил морфометрическую десятичную классификацию карстовых бассейнов и дал им характеристику. Этим автором представлена гидрогеология карста с видами карстовых вод. Он дал описание карстовым пещерам и описал литогенез натечных карбонатных образований пещер. Им рассмотрены энергетическое использование карстовых вод и вопросы водоснабжения, описаны типы карстовых областей и карстовые озера. Среди кубинских специалистов, занимающихся карстом, необходимо назвать Х.Л. Батиста [3], Garcia Miguel Osvaldo Aseano [13], С. Ducloz [14], А. Nuñez Jiménez [15] и др.

Трудности решения задачи по учету влияния карстовых образований на сток рек возникают уже на этапе привлечения данных наблюдений на водомерных постах в зонах распространения карста. Они состоят в неполноценном учете многообразия проявления карстовых явлений (естественно, не только на Кубе), а также в отсутствии правильной организации наблюдений на карстовых водосборах. Существует необходимость систематизировать основные виды карстовых образований и организовать на карстовых реках определенные виды гидрологических наблюдений. Это могут быть парные водомерные посты с наличием карста и без него, водно-балансовые участки и т.д. Иными словами, учет карстовых процессов в гидрологии при имеющихся материалах наблюдений неоднозначен. Несмотря на это, попытаемся изложить один из подходов к учету карста в гидрологических расчетах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для учета влияния карстовых образований на изменение стока рек использованы данные наблюдений на реках Кубы, где карстовые явления, особенно в западных областях, широко распространены [13]. В восточных областях острова в основном распространен покрытый карст, то есть тип карста, в котором карстующиеся породы с поверхности земли прикрыты рыхлыми нерастворимыми отложениями.

Как следует из рис. 1, на исследуемой территории имеют место незакарстованные территории, карст, расположенный между слоями, и карст с дренажом в нижележащие слои.

ОПИСАНИЕ КАРСТОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Описание выполнено применительно к территории Западной Кубы, с районами, обозначенными на рис. 1 (использована работа [13]).

Всего автор [13] выделяет 5 карстовых зон.

1. *Карст с местным дренажом.* Этот вид карста развит на основании эрозии в горных и предгорных районах, и дренаж увязывается с локальной речной сетью. Интенсивность закарстованности зависит от развитости речной сети. Тектонические трещины способствуют образованию разных карстовых форм – как горизонтальных, так и вертикальных. Типичными районами такого вида карста являются территории Сьерра-де-лос-Органос и Сьерра-де-Кубитас.

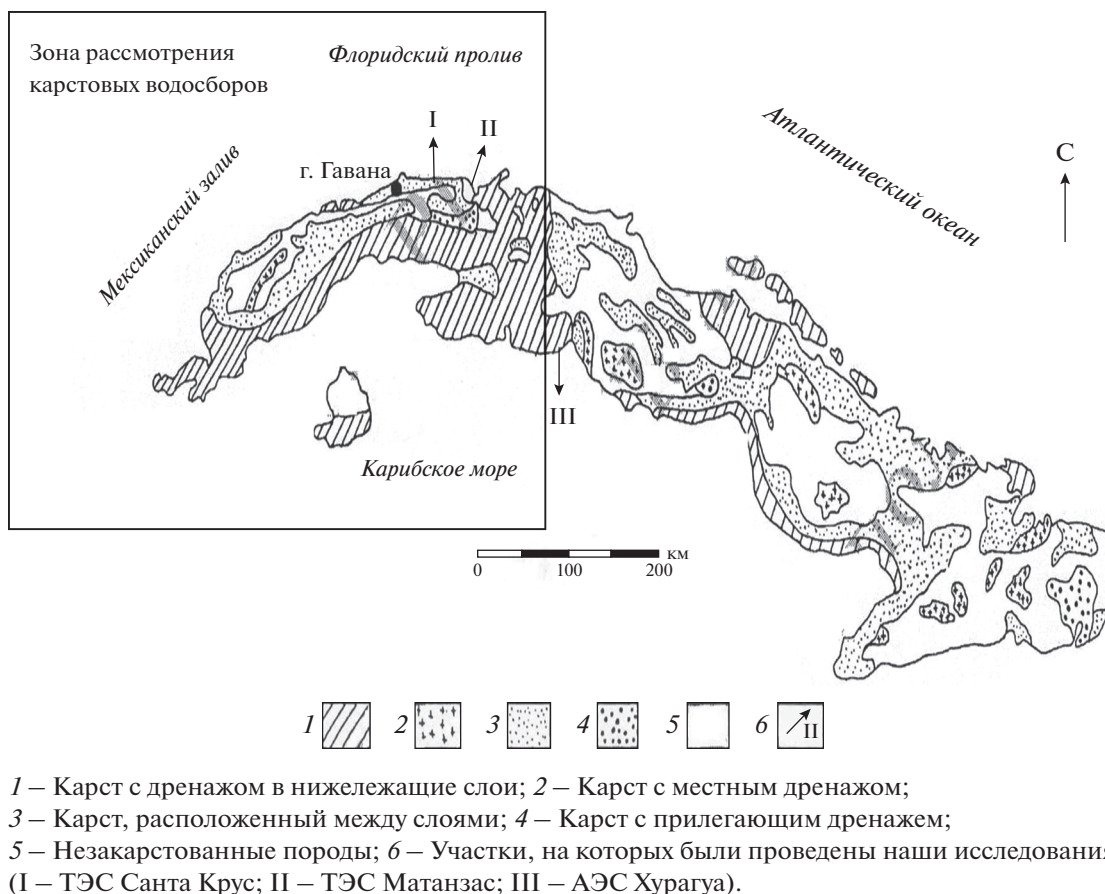
2. *Карст с дренажом через трещины.* Независимо от вида карста присутствие тектонических дислокаций, которые разрушают закарстованные массивы, создает условия для образования особого вида закарстованности.

3. *Карст, расположенный между слоями, не подверженными эрозии, который развит ниже уровня основания эрозии.* Такой вид карста развивается в предгорных районах и прибрежных равнинах. Он характеризуется чередованием закарстованных и незакарстовующихся слоев. Связь между закарстованными слоями происходит за счет трещиноватости массива. Если некарстующиеся слои значительной мощности и непроницаемости, то тогда создаются водоупорные слои, например, в районе Янура-де-Камагуей.

3а. *Карст с прилегающим дренажом, развит на основании эрозии.* Этот вид карста локален и имеет разновидность предыдущего. Он прилегает к руслам рек и уменьшается по мере удаления от них.

4. *Карст с дренажом в нижележащие слои, развит в артезианских бассейнах.* Приурочен к прибрежным равнинам, дренаж приурочен к разгрузке водоносного горизонта к морю и (в небольшой степени) в малоразвитую речную сеть. Карбонатные породы имеют падение в сторону моря, создавая артезианский гидрогеологический бассейн, разгружающийся на большую глубину, вызывая закарстованность массива с поверхности и на всю мощность карбонатных пород. Наиболее активная зона достигает мощности 40–50 м. В зоне аэрации характерны вертикальные карстовые формы, в зоне колебания уровня грунтовых вод развиваются разные формы карста. Типичным районом, где развит такой вид карста, являются равнины Пинар-дель-Рио и Гавана-Матансас.

Материалом для исследования влияния карстовых образований на сток рек использованы данные среднегодовой сток рек Восточной (22 водомерных поста опорной гидрологической сети) и Западной (14 постов) Кубы. Период наблюдений на постах с учетом приведения коротких рядов к



1 – Карст с дренажом в нижележащие слои; 2 – Карст с местным дренажом; 3 – Карст, расположенный между слоями; 4 – Карст с прилегающим дренажом; 5 – Незакарстованные породы; 6 – Участки, на которых были проведены наши исследования (I – ТЭС Санта Крус; II – ТЭС Матанзас; III – АЭС Хурагуа).

Рис. 1. Распределение закарстованных районов на территории Кубы (инженерно-геологическая классификация по [16]).

многолетнему периоду по атмосферным осадкам составляет 42–50 лет.

Для качественного и количественного анализа влияния карстовых образований на речной сток в статье использована линейно-корреляционная модель водного баланса [9, 10]. Эта модель представляет собой уравнение прямой, основными параметрами которой являются свободный член b и коэффициент регрессии k . По этой модели определяются 3 слоя впитывания: на стадии водобразования R_T , на стадии спада стока R_r и после конца стока за счет объемов воды, оставшейся в замкнутых понижениях R_0 . Кроме этого, можно определить слой суммарного испарения E , слой инфильтрации в подземные воды U , слой испарения с водной поверхности E_b [9, 10]. Величина R_0 отражает ту часть стока и атмосферных осадков, которая задержана поверхностными замкнутыми понижениями на водосборе. Мы рассчитываем, что в R_0 входит некоторый объем карстовых вод на водосборе. Методика оценки слоя R_0 рассмотрена в [7] и приведена ниже. Предварительно от-

метим [10], что свободный член уравнения регрессии равен:

$$b = R_T + R_0. \quad (2)$$

Для определения указанных слоев впитывания, содержащихся в параметре b , последовательно выполним следующее [10]. Учитывая зависимость слоя впитывания b от величины атмосферных осадков P , исключим из b влияние P . Представляется, что процесс накопления влаги в почве должен зависеть от степени развитости рельефа. Поэтому после исключения влияния P , выявим зависимость $\frac{b}{P} = f(\Phi)$ от геоморфологического фактора Φ , характеризующего индекс развитости микрорельефа. Геоморфологический фактор [4], равный отношению длины склона водосбора l к корню квадратному из уклона водосбора $I_{\text{вод}}$:

$$\Phi = \frac{l}{\sqrt{I_{\text{вод}}}}, \quad (3)$$

где l – длина склона водосбора, км; $I_{\text{вод}}$ – уклон водосбора, %.

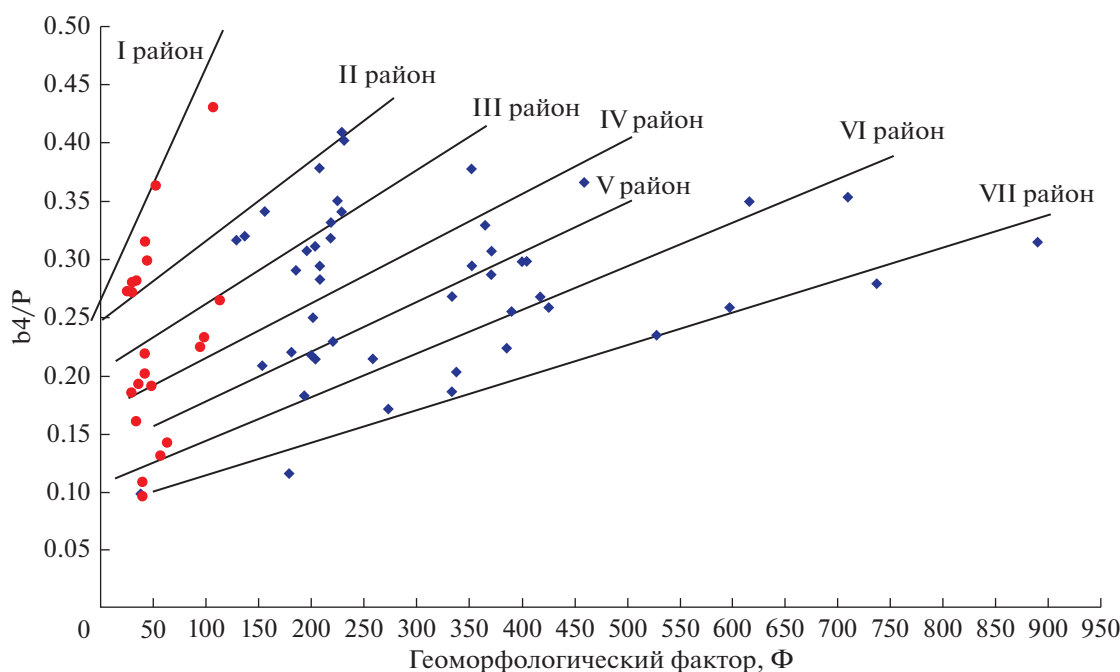


Рис. 2. График зависимости относительной доли впитывания от геоморфологического фактора для условий Вологодской области совместно с характеристиками Восточной Кубы (красные круглые точки соответствуют водосборам рек Восточной Кубы).

Для построения графика $\frac{b}{P} = f(\Phi)$ использованы данные, относящиеся к водосборам рек Вологодской области и Восточной Кубы. Эти водосборы выбраны исключительно по причине наличия у них сведений по типам почв. График зависимости $\frac{b}{P} = f(\Phi)$, приведенный на рис. 2, состоит из семи групп точек, имеющих разные наклоны. Необходимо отметить, что эти группы точек дают основание утверждать, что каждая из семи зависимостей характеризуется значительной редукцией и говорит о существенном влиянии рельефа и типа почв [6, 7]. По нашему мнению, значения зависимостей $\frac{b}{P} = f(\Phi)$ при $\Phi \rightarrow 0$ будут характеризовать (для данного типа почв) впитывающую способность за период водообразования R_T , не искаженную влиянием поверхностного задержания R_0 . Отсюда при $\Phi \rightarrow 0$ на оси $\frac{b}{P}$ мы определяем R_T как отрезок, отсекаемый линией связи на оси ординат зависимости $b/P = f(\Phi)$. Нам известно значение b , а по разности $b - R_T = R_0$ получаем слой поверхностного задержания после окончания стока R_0 .

Каждую из этих точек на линии можно представить выражением (4), отражающем значение

$\frac{b}{P}$ при нулевом геоморфологическом факторе, и получить R_0 :

$$\frac{R_{Ti}}{P_i} = \alpha \Phi - \frac{b_{4i}}{P_i}; \quad \frac{R_{Ti}}{P_i} = \alpha, \quad (4)$$

$$\frac{b_{4i}}{P_i} - \frac{R_{Ti}}{P_i} = \frac{R_{0i}}{P_i}, \quad (5)$$

где $\frac{b_{4i}}{P_i}$ — значение параметра для i -точки на графике; α тангенс угла наклона линий к оси абсцисс.

Значение R_0 можно также довольно просто определить по тангенсу угла наклона линий на графике зависимости $\frac{b}{P} = f(\Phi)$.

Анализ зависимостей, изображенных на рис. 2, выполнен с помощью почвенной карты. На процесс впитывания, в значительной мере зависящего от типа почв, заметное влияние оказывает порозность верхних горизонтов и гранулометрический состав почв.

Значения R_0 в числе других параметров приведены в табл. 1.

Для дальнейших расчетов использована зависимость (3). При больших уклонах водосборов и малых длинах склонов водосбора получаем значение Φ небольшим, что означает почти верти-

Таблица 1. Отдельные параметры некоторых водосборов рек Кубы

| № | Река – пункт | Площадь водосбора, F , км ² | Слой атмосферных осадков, P , мм | Слой инфильтрации, U | Слой поверхностного задержания, R_0 , мм | Геоморфологический фактор, Φ |
|----------------|------------------------------|--|------------------------------------|------------------------|--|-----------------------------------|
| Восточная Куба | | | | | | |
| 1 | Чапарра – эль Робле | 395 | 1063 | 307 | 234 | 98.6 |
| 2 | Хибара – эль Хобо | 80 | 1127 | 212 | 130 | 53.2 |
| 3 | Маяри – ла Эмахауга | 1060 | 1458 | 408 | 114 | 33.9 |
| 4 | Тоа – эль Торро II | 326 | 1688 | 563 | 179 | 93.2 |
| 5 | Сагуа де Т. – эль Инфьерно | 325 | 1766 | 658 | 187 | 49.3 |
| 6 | Тоа – эль Агуакате | 753 | 2439 | 778 | 149 | 29.8 |
| 7 | Хагуани – Арройо Прието | 182 | 2758 | 869 | 223 | 35.9 |
| 8 | Севийя – ла Форталеза | 565 | 1372 | 343 | 357 | 113 |
| 9 | Камазан – Лимонсито | 54 | 1208 | 472 | 169 | 62.1 |
| 10 | Севийя – ла Форталеза | 565 | 1372 | 343 | 357 | 113 |
| 11 | Каутийо – ла Фуенте | 92 | 1553 | 282 | 370 | 106 |
| 12 | Баямо – ла Бирхен | 143 | 1900 | 535 | 171 | 41.5 |
| 13 | Яреаль – Яреаль | 22.5 | 1259 | 418 | 113 | 41.6 |
| 14 | Буэй – сан Мигель | 73 | 2065 | 591 | 120 | 25.9 |
| 15 | Хибакоа – Прага | 42 | 1705 | 838 | 154 | 40.9 |
| 16 | Гуа – Буойна Виста | 56 | 1640 | 564 | 154 | 42.1 |
| 17 | Баконао – Трукуку | 167 | 1442 | 383 | 87 | 29.4 |
| 18 | Гуантанамо – Санта София | 506 | 1380 | 515 | 92 | 32.8 |
| 19 | Хайбо – Мариональ | 163 | 1437 | 388 | 138 | 44.2 |
| 20 | Банос – Санта Роса | 126 | 1390 | 410 | 181 | 57.3 |
| 21 | Ятерас – Паленкито | 144 | 1380 | 806 | 115 | 40.1 |
| 22 | Ятерас – Яригуана | 478 | 1315 | 728 | 109 | 29.8 |
| Западная Куба | | | | | | |
| 1 | Каймито – эль Централь | 40.0 | 1840 | 350 | 301 | 68.9 |
| 2 | М. Мани – М. де Гуахайбон | 79.0 | 1980 | 399 | 300 | 63.4 |
| 3 | Харуко – лас Ковилас | 43.0 | 1520 | 305 | 310 | 90.8 |
| 4 | Канаси – Аркос де Канаси | 44.0 | 1600 | 416 | 128 | 36.5 |
| 5 | Сан Хуан – Сан Хуан | 56.0 | 1560 | 255 | 253 | 67 |
| 6 | Сан Агустин – С. Агустин I | 104 | 1465 | 99 | 52 | 79.6 |
| 7 | Сан Агустин – С. Агустин III | 268 | 1510 | 101 | 61 | 130 |
| 8 | Канимар – Пасо лас Пьедрас | 252 | 1570 | 561 | 222 | 107 |
| 9 | С.Кристоваль – ла Кампана | 100 | 1970 | 560 | 270 | 56.9 |
| 10 | Каньяс – Каньяс | 158 | 1560 | 407 | 373 | 138 |
| 11 | Санта Крус – Санта Ана | 28.0 | 1660 | 371 | 70 | 17.6 |
| 12 | Тако Тако – эль Хардин | 22.0 | 1540 | 347 | 56 | 19.4 |
| 13 | Баяте – Баяте | 148 | 1660 | 431 | 117 | 32.1 |

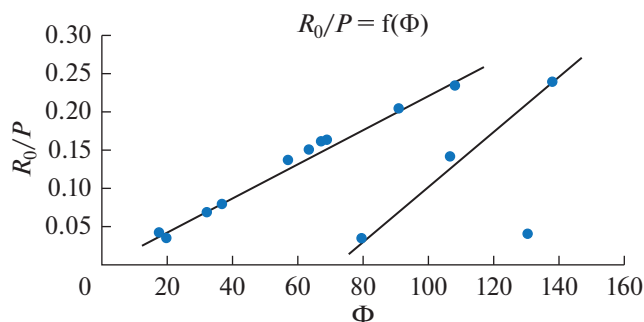


Рис. 3. Зависимость слоя поверхностного задержания $\frac{R_0}{P}$ от геоморфологического фактора Φ для провинций Гавана и Матансас.

кальные склоны водосборов. При малых уклонах водосборов и большой длине склонов значение Φ оказывается большим, что означает равнинные условия территории водосбора.

При вертикальных склонах водосбора поверхностные воды со склонов исчезнут, а в карстовых пустотах сохранится вода. Во втором случае, наоборот, данные по l и $I_{\text{вод}}$ будут отражать плоский рельеф и медленное стекание с такого водосбора. Однако не исключено, что и на этой территории вода задержится в карстовых образованиях. Учитывая это, представляется необходимым исследовать в первую очередь зависимость $R_0 = f(\Phi)$ [9, 10], призванную оценить объем стока, задержанного в карстовых емкостях. Предварительно для этого из значений R_0 необходимо исключить влияние на него атмосферных осадков P . Тогда зависимость можно будет представить как $R_0/P = f(\Phi)$, график этой зависимости приведен на рис. 3.

На рис. 3 образовались две линии связи. Верхняя линия связи охватывает значения Φ от 20 до 110, а $\frac{R_0}{P}$ от 0.04 до 0.23. Нижняя линия отстоит вниз и изменяется $\Phi = 70-140$, а $\frac{R_0}{P} = 0.03-0.25$.

Диапазоны изменения верхней линии говорят о том, что водосборы, принадлежащие этому графику связи, частично расположены в пересеченном рельефе (примерно Φ от 20 до 50 и частично в слаборасчлененном ($\Phi > 50$)). При этом задержанные объемы воды $\frac{R_0}{P}$ на водосборах, входящих в верхнюю линию, превышают объемы воды нижней линии, что говорит о значительно больших емкостях. Нижняя линия, как представляется, охватывает водосборы равнинной территории с минимальным слоем задержанного стока. Однако незначительное количество точек на ниж-

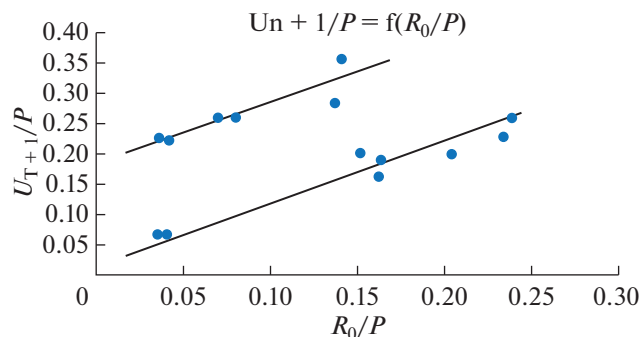


Рис. 4. Зависимость относительного слоя инфильтрации $\frac{U}{P} = f\left(\frac{R_0}{P}\right)$ от относительного слоя задержания стока $\frac{R_0}{P}$.

ней линии не позволяет оценить степень задержания стока карстовыми пустотами и сделать какие-либо выводы.

Таким образом, изображенный на рис. 3 график не позволяет более детально исследовать задержание стока в карстовых емкостях. Вполне возможно, что график зависимости $\frac{U}{P} = f\left(\frac{R_0}{P}\right)$ будет более информативным – рис. 4. Этот график представлен двумя линиями со значимыми коэффициентами корреляции. Верхняя линия выражается уравнением

$$\frac{U}{P} = 0.96 \frac{R_0}{P} + 0.19 \quad (6)$$

с коэффициентом корреляции 0.89. Нижняя линия выражается уравнением

$$\frac{U}{P} = 0.88 \frac{R_0}{P} + 0.038, \quad (7)$$

и коэффициент корреляции 0.90.

Линии на графике почти параллельны, что может говорить об идентичных гидродинамических характеристиках – таких, как скорость и величина фильтрации.

Судя по гидрографическому описанию водотоков, а также по величине R_0 , водосборы на нижней линии связи (рис. 4) отражают отсутствие активных карстовых процессов. Логично предположить, что нижняя линия на графике слабо связана с карстовыми процессами, или вообще не связана, а верхняя линия связи характеризует значительную инфильтрационную способность. Мы считаем, что отношение значений верхней линии к значениям нижней позволит определить коэффициент влияния карста на слой инфильтрации и стока. Тогда полученные коэффициенты будут отражать влияние не только на инфильтрацию, но и на слой стока рек и, соответственно, на вод-

Таблица 2. Коэффициенты влияния карстовых образований на слой инфильтрации, полученные по уравнению (4) (графа 2 в таблице) и уравнению (5) (графа 3 в таблице)

| Слой поверхностного задержания R_0/P | Слой инфильтрации при отсутствии карста, $(U_{n+1})_{6к}/P$ | Слой инфильтрации при наличии карста, $(U_{n+1})_к/P$ | Коэффициент увеличения слоя инфильтрации, K_U |
|--|---|---|---|
| 0.0 | 0.038 | 0.19 | 5.0 |
| 0.02 | 0.056 | 0.21 | 3.74 |
| 0.05 | 0.082 | 0.24 | 2.90 |
| 0.07 | 0.10 | 0.26 | 2.57 |
| 0.1 | 0.13 | 0.3 | 2.20 |
| 0.12 | 0.14 | 0.3 | 2.18 |
| 0.15 | 0.17 | 0.29 | 1.96 |
| 0.17 | 0.19 | 0.35 | 1.86 |
| 0.2 | 0.21 | 0.38 | 1.81 |
| 0.25 | 0.26 | 0.43 | 1.65 |
| 0.3 | 0.30 | 0.48 | 1.60 |

ный баланс водосбора. Вычисления поправочных коэффициентов изменения слоя инфильтрации приведены в табл. 2. При этом K_U (графа 4 табл. 2) получен делением значений графы 3 на значения графы 2.

Значения коэффициентов в табл. 2 приведены в убывающем порядке согласно методу Г.А. Алексеева [12], согласно которому происходит наименьшее отклонение от наблюдаемых точек как по ординате, так и по абсциссе. Метод назван автором [12] “методом наименьших прямоугольников”. Согласно этому методу, минимум отклонений от наблюдаемых точек соблюдается по двум осям, корреляционная связь не имеет разброса. В отличие от метода наименьших квадратов отклонения от наблюдаемых точек осуществляется только по одной из осей.

Соотношение значений в табл. 2, графе 3 к значениям в графе 2 представляет коэффициент влияния карста K_U на слой инфильтрации, соответственно на слой стока и водный баланс.

Изменение коэффициента K_U можно проследить на рис. 5. На этом рисунке при нулевом значении R_0/P значение коэффициента $K_U = 0.69$. Представляется, что при $R_0/P = 0$ эта величина (0.69) отражает процесс продолжающегося стекания, в том числе и подземным путем через карстовые пустоты из других близлежащих бассейнов. По нашему мнению, для оценки влияния карста на слой инфильтрации можно использовать приведенный на рис. 5 график.

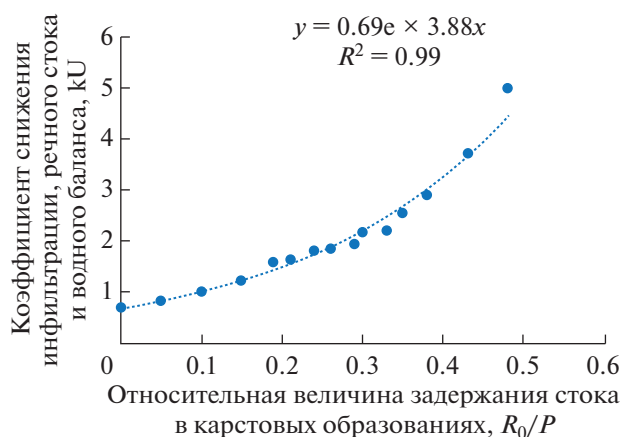
Мы рассмотрели влияние карста на слой инфильтрации. Чаще интерес вызывает влияние

карста на сток рек. Для оценки этого влияния рассмотрим выражение для слоя инфильтрации из работ [6, 8, 9]:

$$U = \frac{Y(1-k)}{k}, \quad (8)$$

где Y – слой речного стока, мм; k – коэффициент регрессии корреляционной зависимости слоя стока от слоя атмосферных осадков.

Коль скоро коэффициент регрессии k характеризует угол наклона линии регрессии зависимости слоя стока от слоя атмосферных осадков, где на оси абсцисс отложены слои атмосферных осадков, то с увеличением k возрастает Y , а слой U

**Рис. 5.** Значение снижающего коэффициента по влиянию карста на инфильтрацию, сток и водный баланс.

будет уменьшаться. И, наоборот, при уменьшении k уменьшится U и увеличится U .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненного исследования намечен путь возможного учета влияния карста на слой инфильтрации и, соответственно, на слой стока и на водный баланс. Безусловно, для уверенного суждения о достоверности выбранного пути необходимо привлечь данные наблюдений на соседних водосборах, где также распространен карст. Кроме этого, нужно организовать наблюдения на разных видах карста и оценить их влияние на гидрологические характеристики по предлагаемой методике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.А. Отыскание формы связи между случайными величинами методом квантилей: В кн. Великанова М.А. Ошибки измерений и эмпирические зависимости. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 299 с.
2. Балков В.А. Влияние карста на сток рек Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 216 с.
3. Батиста Х.Л. Средний многолетний годовой сток и его изменчивость на территории Кубы // Водные ресурсы. 1983. № 6. С. 147–153.
4. Бэфани А.Н. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат. // Тр. УкрНиГМИ. Киев, 1967. Вып. 69. С. 105–137.
5. Гигинейшвили Г.Н. Карстовые воды Большого Кавказа и основные проблемы гидрологии карста. Тбилиси: Мецниереба, 1979. 224 с.
6. Иофин З.К. Линейно-корреляционная модель водного баланса // Вестн. гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О.Макарова. 2013. № 2. С. 20–32.
7. Иофин З.К. Совершенствование теории формирования элементов водного баланса речных бассейнов. М.: Логос, 2012. 196 с.
8. Иофин З.К., Лихачева О.И., Чудинова Е.А. Определение параметров линейно-корреляционной модели: сб. Вузовская наука – региону: Материалы Восьмой Всероссийской научно-технической конференции: в 2-х т. / отв. ред. А.А. Плеханов. 2010. С. 418–420.
9. Иофин З.К. Инфильтрационные процессы в речном водосборе // Мелиорация и водное хозяйство. 1975. № 5. С. 11–16.
10. Иофин З.К. Условия впитывания воды в почву и ее инфильтрация в подземные воды на водосборах рек Восточной Кубы // Изв. АН. Сер. геогр. 2015. № 4. С. 58–69.
11. Иофин З.К., Лихачева О.И., Чудинова Е.А. Внутрипочвенный сток в интерпретации линейно-корреляционной модели: Сб. Вузовская наука – региону: Материалы восьмой Всероссийской научно-технической конференции: в 2-х т. 2010. С. 420–422.
12. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. 2. Пермь: Изд. Географическое общество Союза СССР, 1969. 530 с.
13. Garcia Miguel Osvaldo Aseanio. Genesis y clasificacion de los suelos Huimico carbonaticos de los principales regiones de Cuba. Resumen de tesis. La Habana, 1984. 31 p.
14. Ducloz C.E. Studiogeomorfológico de la regifinde Matanzas. Actualidades técnico-científicas // Geografía. 1970. № 1. P. 16–19.
15. Nuñez Jiménez A., Panos V., Stelcl O. El desarrollo diferenciado del carso cubano y sus causas // Serie Espeleológica y Carsológica. Academia. De Ciencias de Cuba. 1969. № 6. P. 31–36.
16. Swaletski E.N., Iturralde M.A. Estudio ingenierogeológico del carso cubano // Serie Espeleológica y Carsológica. Academia. De Ciencias de Cuba. 1971. № 31. P. 14–20.

Water Balance of Cuba Karst Areas

Z. K. Iofin[#]

Vologda State University, Vologda, Russia

[#]e-mail: pirit35@yandex.ru

The process and conditions of karst formation and its types have already been studied. As this natural phenomenon is heterogeneous and changeable, it is rather difficult to estimate how karst influences the river runoff, infiltration capacity and water balance in catchment areas. This study is based on the approach used by the author in his researches on water balance. The approach helps to estimate how karst influences infiltration capacity. The study is also based on the genetic runoff theory, firstly introduced by A.N. Befany. This theory takes into account the conditions of water absorption into soil when considering water balance. That is why it suggests three types of absorption: seepage within the period of water formation R_T , seepage after termination of runoff due to amounts of water which are left in depressions R_0 , seepage within the period of runoff recession after water formation R_r . In order to consider the influence of karst on hydrological characteristics, this study uses the values of surface detention depth after termination of runoff due to amounts of water left in depressions R_0 . This parameter is the key parameter in this study as it helps to estimate the influence of caverns on infiltration capacity. However, the amount of water detained in closed depressions R_0 can partly include both surface runoff and water detained in caverns. This study helps to distinguish these two types of water. The article also shows the graph dependence between the cavern volume filled with water and infiltra-

tion capacity. This dependence makes it possible to estimate how karst influences infiltration capacity and runoff and water balance as well. The analysis helps to determine quantitative influence of karst on infiltration capacity. The results of the research must be considered as preliminary ones as it is necessary to analyze more catchment areas, using observation data from the Pinar del Río and Matanzas provinces.

Keywords: caverns, infiltration, water balance, influence of karst on water balance, linear-correlation model of water balance, surface detention in catchment area

REFERENCES

1. Alekseev G.A. Searching for the form of dependence between random variables with the method of quantiles. In *Oshibki izmerenii i empiricheskie zavisimosti* [Measurement Errors and Empirical Dependences]. Velikanov M.A., Ed. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. Appendix.
2. Balkov V.A. *Vliyanie karsta na stok rek Evropeiskoi territorii SSSR* [Influence of Karst on River Run-off on European Part of the USSR]. Gidrometeoizdat Publ., 1970. 216 p.
3. Batista Kh.L. Annual normal flow and its variability in Cuba. *Vodn. Resur.*, 1983, no. 6, pp. 147–153. (In Russ.).
4. Befani A.N. Calculation of annual normal flow of temporary streams and mountain rivers in Ukrainian Carpathians. *Tr. Ukr. NiGMI.*, 1967, no. 69, pp. 105–137. (In Russ.).
5. Gigineishvili G.N. *Karstovye vody Bol'shogo Kavkaza i osnovnye problemy gidrologii karsta* [Karst Waters in the Caucasus and the Main Problems of Karst Hydrology]. Tbilisi: Metsniereba Publ., 1979. 224 p.
6. Iofin Z.K. Linear-correlation model of water balance. *Vestn. Gos. Univ. Morsk. i Rechn. Flota im. Adm. S.O. Makarova*, 2013, no. 2, pp. 20–32. (In Russ.).
7. Iofin Z.K. *Sovershenstvovanie teorii formirovaniya elementov vodnogo balansa rechnykh basseinov* [Improving the Theory of Water Balance Elements Formation in River Basins]. Moscow: Logos Publ., 2012. 196 p.
8. Iofin Z.K., Likhacheva O.I., Chudinova E.A. Determining the linear-correlation model parameters. In *Vuzovskaya nauka – regionu: mater. 8 Vseros. Nauch. Tekhnich. Konfer.* [University Science for Region: Proc. 8 All-Russia Sci. Techn. Conf.]. Plekhanov A.A., Ed. 2010, pp. 418–420. (In Russ.).
9. Iofin Z.K. Infiltration processes in river catchment area. *Melior. i Vodn. Khoz.*, 1975, no. 5, pp. 11–16. (In Russ.).
10. Iofin Z.K. Conditions of moisture absorption into soil and its infiltration into underground waters in catchment areas in Eastern Cuba. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2015, no. 4, pp. 58–69. (In Russ.).
11. Iofin Z.K., Likhacheva O.I., Chudinova E.A. Seepage flow within the linear-correlation model. In *Vuzovskaya nauka – regionu: mater. 8 Vseros. Nauch. tekhnich. konfer.* [University Science for Region: Proc. 8 All-Russia Sci. Techn. Conf.]. Plekhanov A.A., Ed. 2010, pp. 420–422. (In Russ.).
12. Maksimovich G.A. *Osnovy karstovedeniya* [The Basics of Karst Studying]. Perm: Geogr. Obshch–vo Souza SSR, 1969. 530 p.
13. Garcia Miguel Osvaldo Aseanio. *Genesis y clasificacion de los suelos Huimicocarbonaticos de los principales regiones de Cuba. Resumen de tesis.* La Habana: 1984. 31 p.
14. Ducloz C.E. Studiogeomorfológico de la regifinde Matanzas. *Actualidades técnico-científicas. Geografía*, 1970, no. 1, pp. 16–19.
15. Nuñez Jiménez A., Panos V., Stelcl O. El desarrollo diferenciado del carso cubano y suscausas. *Serie Espeleológica y Carsológica. Academia. De Ciencias de Cuba*, 1969, no. 6, pp. 31–36.
16. Swaletski E.N., Iturralde M.A. Estudio ingenierogeológico del carso cubano. *Serie Espeleológica y Carsológica. Academia. De Ciencias de Cuba*, 1971, no. 31, pp. 14–20.