

УДК 556(571.150)

В.П.Галахов

Условия формирования поверхностного стока в бассейне Кулундинского озера*

Общеизвестно, что сток равнинных и горных рек зависит от метеорологических условий. Изменение термического режима влияет на испарение в бассейне, изменение количества осадков на увлажнение бассейна. В нашей предыдущей работе [1] мы рассмотрели влияние изменения метеорологических характеристик на сток горной реки. Попытаемся, используя разработанный алгоритм расчета поверхностного стока, исследовать условия формирования стока, равнинной реки. В качестве объекта исследований выбраны две реки, впадающие в Кулундинское озеро: собственно Кулунда и Суетка. Площадь водосбора бассейна Кулунды у с. Шимолино составляет 12300 км², Суетки у с. Н. Суетка – 692 км². Средний уклон водосбора Кулунды равен 0,18‰, средняя высота водосбора – 180 м, лесистость – 10%. Средний уклон водосбора – Суетки равен 1,68‰, средняя высота водосбора около 180 м, лесистость – 5%. Озера и болота в бассейне Кулунды занимают 7% площади водосбора, в бассейне Суетки – менее 1%. [2] По типу гидрографов исследуемые реки, по классификации В.Д. Зайкова, относятся к казахстанскому типу [3]. Последний характеризуется исключительно резкой и высокой волной половодья и низким стоком в остальную часть года. Наблюдения за стоком в бассейне Кулунды начаты с 1935 г., в бассейне Суетки производились в период с 1951 по 1964 г.

Достаточно подробную физико-географическую, гидрологическую и гидрогеологическую характеристики исследуемого региона можно найти в монографии Д.А. Абрамовича «Воды Кулундинской степи», изданной Сибирским отделением РАН в 1960 г. [4].

Для того чтобы рассмотреть условия формирования стока в исследуемых бассейнах, применим разработанную схему расчета водного баланса [1]. Однако, поскольку мы исследуем равнинные реки, в данном случае осадки и зимнего и теплого сезонов рассчитывались методом интерполяции по наблюдениям станций и постов Гидрометеослужбы.

Отличительной чертой равнинных водосборов является то, что на них, как правило,

поверхностный сток наблюдается лишь в весенний период. Коэффициент стока половодья зависит не от максимальных снегозапасов, а от осеннего увлажнения (в качестве последнего необходимо использовать сумму осадков на водосборе за период с августа по октябрь). Вода в теплый период поступает в русловую сеть из относительно глубоких горизонтов. Поверхностного стока не наблюдается.

Схема расчета стока

Численные эксперименты проводились за период с 1942 по 1965 г. В качестве проверки использовался современный период с 1971 по 1974 г., включающий в себя один многоводный (1971), один маловодный (1974) и два близких по водности к среднему (1972, 1973) годы. В бассейне Кулунды, кроме створа Шимолино, который захватывает практически всю Кулунду, использовались материалы по створу Овечкино ($F = 1400$ км²). По Суетке использовался весь период непосредственных наблюдений (1951–1964 гг.). Материалы расчетов показывают, что сумма осадков составляет по бассейну около 400–450 мм: в год с максимальным стоком (1971) – 350 мм, в год с минимальным стоком (1974) – 300 мм. Слой стока составляет в среднем около 15–20 мм: в год с максимальным стоком (1971) – 15–20 мм, в год с минимальным стоком (1974) – примерно 5–7 мм (полученные величины приводятся для Кулунды–Шимолино). В осенний период, как правило, происходит зарядка бассейна, влага которой расходуется зимой.

Сток за зимний период рассчитывался по кривой истощения. Для расчета этой кривой были использованы материалы наблюдений за 1941–1944 гг. В теплый период использовались лишь те месяцы, когда осадки были или меньше или равны испарению. Испарение за зимний период (ноябрь–март) оценивалось по графикам П.С. Кузина с учетом экспозиционных поправок. Испарение за апрель принималось равным максимально возможной испаряемости. Считалось, что в период снеготаяния (апрель) величина испарения не зависит от ко-

* Работа выполнена благодаря финансовой поддержке РФФИ (грант №03-05-64852).

личества осадков за данный месяц. Поскольку графики П.С. Кузина получены для условий достаточного увлажнения (ЕТС, верховья Волги) методом водного баланса, очевидно, они должны учитывать не только испарение, но и транспирацию и поверхностное задержание. В апреле (период снеготаяния) их можно применять без каких-либо поправок, но в летне-осенний период, очевидно, необходим учет региональных особенностей.

Сток в период снеготаяния (максимальное поступление влаги в бассейн) должен зависеть от величины осеннего увлажнения (в качестве которого принята сумма осадков в бассейне за период с августа по октябрь) и поступления влаги непосредственно за апрель. Прежде чем рассмотреть эту зависимость, отметим, что результаты расчетов (табл. 1) показывают, что коэффициент стока весеннего половодья практически не зависит от максимальных снегозапасов, осеннего увлажнения, если мы его представляем в виде величины стока за октябрь предыдущего балансового года или разницы осадков-испарения также за октябрь предыдущего балансового года. Коэффициенты корреляции слоя стока весеннего половодья со всеми вышеуказанными величинами изменяются в пределах 0,1–0,2 для всех расчетных бассейнов.

Более приемлемым для оценки коэффициентов стока является использование осеннего увлажнения, величину которого Д.И. Абрамович (1960) предлагает определять как сумму осадков за август–октябрь. Но, поскольку в

1965–1966 гг. осадкомеры с защитой Нифера были заменены на осадкомеры с защитой Третьякова, и поскольку поправки на выдувание и на смачивание этих двух типов осадкомеров различны, зависимости коэффициентов стока весеннего половодья от осеннего увлажнения естественно получаются разными. Для периодов 1942–1950 и 1971–1974 гг. это одни зависимости (табл. 2–3), для периода 1951–1965 гг. – другие (табл. 4–6).

Кроме непосредственно испарения с земной поверхности, нам необходимо учитывать транспирацию влаги растительностью, задержание осадков на ее поверхности и дальнейшее их испарение. Последние две величины мы определяем как потери. Существует масса расчетных формул для определения как транспирации [5, 6], так и поверхностного задержания [7]. Однако все эти расчетные формулы региональны и при переносе их в другой район, либо при смене растительности (например, травостой на древесную) они будут значительно изменяться. В связи с этим нам необходимо найти региональную зависимость учета этих потерь. Рассмотрим вначале составляющие водного баланса исследуемого бассейна за весенне-летний период без учета потерь на транспирацию и поверхностное задержание, но с учетом потерь на испарение. Очевидно, потери будут наблюдаться лишь в те месяцы, когда количество осадков за месяц больше испарения. Как уже говорилось ранее, сток – это функция влагозапасов, определяемая по кривой истощения, где влагозапасы за апрель –

Таблица 1

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса р. Кулунды-с. Шимолино за 1940–1950 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст}}$ | Y_{10} | $(X-E)_{10}$ |
|------|----------------|---------------------|-----------------|----------|--------------|
| 1940 | 45,5 | 3,5 | 0,077 | 0,46 | – |
| 1941 | 76,5 | 24,6 | 0,321 | 0,13 | 36,6 |
| 1942 | 73,2 | 9,7 | 0,132 | 0,31 | 18,3 |
| 1943 | 69,5 | 13,4 | 0,193 | 0,61 | 45,4 |
| 1944 | 20,0 | 3,0 | 0,148 | 0,17 | 22,4 |
| 1945 | 60,7 | 5,2 | 0,086 | 0,10 | 21,7 |
| 1946 | 88,4 | 6,6 | 0,075 | 0,05 | 10,1 |
| 1947 | 59,4 | 13,1 | 0,221 | 0,68 | 13,0 |
| 1948 | 89,2 | 14,1 | 0,159 | 0,44 | 5,8 |
| 1949 | 53,9 | 7,1 | 0,133 | 0,26 | 23,7 |
| 1950 | 94,9 | 17,7 | 0,187 | 0,33 | 18,7 |

Примечание: здесь и в остальных таблицах $(X-E)_{11-4}$ – разница осадков (испарения за ноябрь–апрель расчетного балансового года); $h_{\text{полов.}}$ – сток половодья; $K_{\text{ст}}$ – коэффициент стока; Y_{10} – сток за октябрь предыдущего балансового года; $(X-E)_{10}$ – разница осадков (испарения за октябрь предыдущего балансового года).

Условия формирования поверхностного стока в бассейне Кулундинского озера

Таблица 2

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса
р. Кулунды-с. Шимолино за 1942-1950 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст.}}$ | X_{8-10} |
|------|----------------|---------------------|------------------|------------|
| 1942 | 73,2 | 9,7 | 0,132 | 112,5 |
| 1943 | 69,5 | 13,4 | 0,194 | 143,4 |
| 1944 | 20,0 | 2,96 | 0,148 | 83,2 |
| 1945 | 60,7 | 6,3 | 0,104 | 118,2 |
| 1946 | 88,4 | 6,6 | 0,075 | 70,7 |
| 1947 | 59,4 | 13,1 | 0,221 | 174,0 |
| 1948 | 89,2 | 14,2 | 0,158 | 127,3 |
| 1949 | 53,9 | 7,1 | 0,132 | 112,7 |
| 1950 | 94,9 | 17,7 | 0,186 | 98,6 |

Примечание: $r = 0,844$, $K_{\text{ст.}} = 0,00122 * X_{8-10} + 0,0024$.

Таблица 3

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса
р. Кулунды-с. Овечкино за 1942-1950 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст.}}$ | X_{8-10} |
|------|----------------|---------------------|------------------|------------|
| 1942 | 83,4 | 30,5 | 0,365 | 95,3 |
| 1943 | 79,4 | 38,4 | 0,484 | 152,7 |
| 1944 | 36,6 | 9,7 | 0,265 | 102,5 |
| 1945 | 83,3 | 22,6 | 0,272 | 98,3 |
| 1946 | 109,5 | 23,4 | 0,214 | 66,1 |
| 1947 | 65,3 | 45,5 | 0,697 | 182,0 |
| 1948 | 95,8 | 58,3 | 0,608 | 149,9 |
| 1949 | 57,2 | 51,96 | 0,908 | 149,1 |
| 1950 | 96,7 | 61,6 | 0,637 | 114,1 |

Примечание: $r = 0,824$, $K_{\text{ст.}} = 0,00514 * X_{8-10} - 0,163$.

X_{8-10} - сумма осадков за август-октябрь предыдущего балансового года.

Таблица 4

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса
р. Кулунды-с. Шимолино за 1951-1965 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст.}}$ | X_{8-10} |
|------|----------------|---------------------|------------------|------------|
| 1951 | 80,0 | 7,6 | 0,095 | 130,2 |
| 1952 | 124,2 | 2,7 | 0,022 | 36,2 |
| 1953 | 153,7 | 8,0 | 0,051 | 113,9 |
| 1954 | 161,7 | 6,2 | 0,038 | 95,9 |
| 1955 | 141,5 | 12,2 | 0,086 | 125,1 |
| 1956 | 142,7 | 4,1 | 0,029 | 67,3 |
| 1957 | 131,0 | 18,0 | 0,137 | 159,6 |
| 1958 | 246,2 | 21,2 | 0,086 | 137,9 |
| 1959 | 133,8 | 5,0 | 0,037 | 96,3 |
| 1960 | 236,8 | 15,1 | 0,064 | 122,5 |
| 1961 | 188,9 | 23,6 | 0,125 | 135,2 |
| 1962 | 139,4 | 18,5 | 0,133 | 167,2 |
| 1963 | 76,2 | 2,9 | 0,038 | 96,2 |
| 1964 | 134,8 | 7,5 | 0,056 | 145,8 |
| 1965 | 56,6 | 5,9 | 0,104 | 114,8 |

Примечание: поскольку зависимость непрямолинейна, коэффициент корреляции не определялся. Ввод зависимости в программу осуществлялся в табличной форме с шагом по осеннему увлажнению в 10 мм.

Таблица 5

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса
р. Кулунды-с. Овечкино за 1951-1965 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст.}}$ | X_{8-10} |
|------|----------------|---------------------|------------------|------------|
| 1951 | 58,8 | 34,7 | 0,590 | 121,2 |
| 1952 | 110,0 | 15,2 | 0,138 | 44,1 |
| 1953 | 129,3 | 38,8 | 0,300 | 142,7 |
| 1954 | 161,5 | 34,9 | 0,216 | 110,9 |
| 1955 | 147,3 | 38,0 | 0,258 | 154,2 |
| 1956 | 166,0 | 13,1 | 0,079 | 79,7 |
| 1957 | 139,3 | 58,3 | 0,419 | 150,4 |
| 1958 | 209,2 | 80,0 | 0,382 | 176,7 |
| 1959 | 145,5 | 39,0 | 0,268 | 119,5 |
| 1960 | 275,2 | 45,3 | 0,152 | 107,6 |
| 1961 | 234,0 | 39,4 | 0,168 | 137,4 |
| 1962 | 163,4 | 75,9 | 0,464 | 176,0 |
| 1963 | 77,3 | 10,8 | 0,140 | 102,7 |
| 1964 | 145,0 | 33,9 | 0,234 | 166,7 |
| 1965 | 76,7 | 42,0 | 0,548 | 122,9 |

Примечание: поскольку зависимость не прямолинейна, коэффициент корреляции не определялся. Ввод зависимости в программу осуществлялся в табличной форме с шагом по осеннему увлажнению в 10 мм.

Таблица 6

Материалы расчетов некоторых составляющих водного баланса
р. Суетки-с. Н. Суетка за 1951-1964 гг. (мм)

| Годы | $(X-E)_{11-4}$ | $h_{\text{полов.}}$ | $K_{\text{ст.}}$ | X_{8-10} |
|------|----------------|---------------------|------------------|------------|
| 1951 | 43,5 | 5,1 | 0,117 | 141,5 |
| 1952 | 108,6 | 3,4 | 0,031 | 39,1 |
| 1953 | 76,0 | 7,2 | 0,095 | 141,4 |
| 1954 | 121,4 | 6,4 | 0,053 | 118,0 |
| 1955 | 89,5 | 21,9 | 0,245 | 119,2 |
| 1956 | 103,6 | 4,5 | 0,043 | 79,8 |
| 1957 | 127,1 | 29,7 | 0,234 | 184,6 |
| 1958 | 218,4 | 20,0 | 0,092 | 105,3 |
| 1959 | 11,4 | 7,7 | 0,065 | 93,2 |
| 1960 | 224,9 | 21,6 | 0,087 | 130,0 |
| 1961 | 132,2 | 24,7 | 0,187 | 126,1 |
| 1962 | 88,0 | 18,8 | 0,213 | 165,0 |
| 1963 | 57,6 | 2,4 | 0,042 | 83,6 |
| 1964 | 146,5 | 1,6 | 0,011 | 135,6 |

Примечание: поскольку зависимость не прямолинейна, коэффициент корреляции не определялся. Ввод зависимости в программу осуществлялся в табличной форме с шагом по осеннему увлажнению в 10 мм.

это максимальное снегонакопление, влагозапасы за остальные месяцы – это глубинные влагозапасы, определяемые по стоку за предыдущий месяц и разнице осадки–испарение. Но это будет лишь в том случае, если осадки данного месяца больше потенциального испарения. В случае, если осадки меньше потенциальной испаряемости, то влагозапасы приравниваются к стоку предыдущего месяца полученного по кривой истощения.

Рассчитаем подобным образом величину стока, разницу реальный сток–расчетный сток и влагозапасы. Очевидно, разница расчетного и реального стока характеризует неучтенную часть потерь на смачивание и транспирацию. Попытаемся увязать эту величину с величиной влагозапасов. В результате получена следующая зависимость величины потерь от влагозапасов в исследуемых бассейнах: для Кулунды–Шимолино:

$$W_{\text{потерь}} = 0,997 W_i - 1,0; \quad (1)$$

для Кулунды–Овечкино:

$$W_{\text{потерь}} = 0,974 W_i - 1,5, \quad (2)$$

которая и будет вычитаться при расчетах из влагозапасов бассейна. Для Суетки–Н. Суетка потери приняты такими же, как и для Кулунды–Шимолино. Полагаем также, что сток в мае не зависит от потерь, т.е. потери для мая приравнены как и для апреля к нулю (вследствие неразвитости растительности).

Осенью, в отличие от летних месяцев, поступающая в бассейн влага затрачивается лишь на смачивание подстилки (транспирация растительностью отсутствует). Однако потери влаги должны быть соизмеримы с летними месяцами, так как часть влаги будет затрачиваться на впитывание сухой растительностью. Поскольку определяем сток за необходимый нам месяц с учетом влагозапасов за предыдущий месяц, потери необходимо оценивать также с учетом предыдущего месяца. Впитывание подстилкой (потери на смачивание) довольно хорошо увязывается с влагопоступлением. Полученная зависимость:

$$W_{\text{впит.}} = 0,987 W_i - 1,1 \quad (3)$$

отличается от зависимости, полученной для лета незначительно. Поэтому во всех бассейнах и для лета (июнь–август) и для осени (сентябрь–октябрь) в модели использовалась летняя зависимость потерь от влагопоступления.

Обсуждение полученных результатов

Возможные ошибки при моделировании стока будут определяться двумя моментами [8]. Во-первых, ошибками самой методики моделирования, и во-вторых, ошибками при расчете сред-

него для каждой составляющей водного баланса [9]. Однако эти ошибки необходимо рассматривать отдельно для зимнего и летнего периодов. Это связано с тем, что в зимний период осадки формируются фронтальными зонами, выпадение из которых более или менее постоянно в пространстве. В летний период около 30% осадков формируются из внутримассовой облачности (грозы). Диаметр грозовой ячейки для Западной Сибири невелик: 10–15 км. Поэтому часть осадков при расчетах мы просто не сможем учитывать. Они не фиксируются осадкомерами. Если для бассейна Кулунды–Шимолино это в какой-то мере нивелируется большим объемом ГМС и постов, то для Кулунды–Овечкино и особенно для Суетки–Н. Суетка, где количество метеостанций и постов, используемых при интерполяции, невелико (табл. 9), эти ошибки могут достигать значительных величин: по крайней мере 15% от величины выпадающих осадков.

Вначале рассмотрим возможные ошибки расчета отдельных составляющих водного баланса [10]. Ошибки расчета зимних осадков будут состоять из ошибок определения снегонакопления на метеостанциях, ошибки методики расчета среднесезонного снегонакопления на максимум, ошибки интерполяции, что с учетом имеющихся литературных источников можно оценить в 25–30% от реальных снегозапасов. Ошибки определения жидких осадков на метеостанциях весьма незначительны [11] и при определении средних по бассейну осадков за теплый период основной будет являться ошибка методики интерполяции по имеющимся фактическим данным, которую (также с учетом литературных источников) можно оценить в 25–30%. В значительной степени величина ошибки определения будет зависеть и от самой величины осадков: при незначительных осадках она будет увеличиваться, при больших – уменьшаться. Более или менее определенно мы можем говорить об ошибках расчета испарения по методике П.С. Кузина. В своей монографии Б.А. Апполов [5] оценивает ее не более 8%. Очевидно, наши расчеты потерь на смачивание растительности и ее дальнейшее испарение входят в эти 8%. Таким образом, суммарная максимальная ошибка может достигать 10% [10]. Величина стока, согласно «Наставлению гидрологическим станциям и постам», измеряется с максимальной ошибкой для равнинных территорий (где собственно и расположены водомерные посты) в 5% для отдельного измеренного расхода [10]. С учетом того, что для расчета мы использу-

ем кривую истощения, построенную по реальным материалам (среднемесячные расходы), ошибки определения которых составляют не более 2%, ошибку самой методики расчета можно оценить в 10%. С учетом вышесказанного очевидно, что максимальная ошибка расчета стока за отдельный месяц периода половодья может достигать значительных величин: порядка 40–50%, что мы и наблюдаем в отдельные месяцы. Ошибка определения стока за межленивый период будет существенно меньше: не более 1–2 мм. Однако в процентном отношении она может быть в несколько раз больше ошибки определения стока половодья.

Необходимо также отметить, что в модели мы не учитываем реальное поступление тепла за каждый год. Мы приняли, что весь снег сходит в течение апреля, что, естественно, не всегда верно.

Для проверки разработанного алгоритма расчета стока в бассейнах исследуемых водосборов использованы материалы с 1971 по 1974 г. Ошибка расчета стока за балансовый год по бассейну Кулунда–Шимолино по четырем годам проверки составила в 1973–1974 гг. (маловодный) – 39%, за 1970–1971 гг. (многоводный) – 1%, за 1971–1972 и 1972–1973 гг. (средние по водности) – 14 и 25%, соответственно. Следовательно, ошибка в определении стока в значительной степени зависит от водности года. Для среднего по водности года она не превышает 25%. Если в дальнейшем для исследования зависимости стока от метеорологических характеристик мы будем применять среднесезонные характеристики, очевидно, величина ошибки снизится как минимум в 2–3 раза.

Для того чтобы рассмотреть зависимость стока от метеорологических характеристик, воспользуемся разработанной имитационной моделью. Рассмотрим, каким образом будет изменяться сток в зависимости от того, как меняется один из определенных параметров.

Первой величиной, влияющей на составляющие водного баланса, является испарение, которое у нас зависит от температур теплого периода (У–Х). Рассмотрим, каким образом изменяются составляющие водного баланса за среднесезонный год при изменении температур теплого периода от – 2 до 4 °С. (табл. 7).

Следующей величиной, влияющей на составляющие водного баланса, являются осадки теплого периода (У–Х). На примере среднесезонного года, оставляя неизменным термический режим, попытаемся, изменяя осадки балан-

сового года, рассмотреть эти изменения (табл. 8). Причем внутригодовое распределение осадков примем современное, изменять будем годовое количество осадков. Таким образом, месячное количество осадков будет изменяться в зависимости от годового изменения.

Как видим, анализируя полученные материалы, основное влияние на сток равнинных рек оказывает сумма годовых осадков и более значительно – величина осеннего увлажнения и сумма зимних осадков. При изменении суммы годовых осадков (по отношению к среднему это всего лишь изменение за балансовый год максимум от –35 до +35%) сток изменяется от –75 до +150–200%. Изменение термического режима теплого периода, а следовательно, испарения при неизменных снегозапасах и летних осадках, практически не влияет на сток, так как испарение (Е) и потери влаги в бассейне (РкТ) компенсируют друг друга, а их общая сумма остается примерно постоянной. Некоторое влияние на сток оказывает изменение осадков теплого периода (У–Х месяцы). Однако эти изменения существенно меньше (примерно на порядок) влияния осеннего увлажнения и максимальных снегозапасов.

Все вышесказанное позволяет говорить о том, что, зная сумму осадков за холодный период времени и используя полученную кривую истощения, можно предсказывать гарантированный сток теплого периода.

Немаловажно и то, что полученные материалы позволяют говорить о влиянии глобального потепления на сток. Общеизвестно, что на равнинной части юга Западной Сибири при потеплении на 1° сумма годовых осадков уменьшается на 50 мм, при потеплении на 2° – на 100 мм. На основании вышесказанного можно утверждать, что при потеплении даже на 1 °С (а эту величину прогнозируют через 25 лет) сток рек уменьшится на 25–30%, что, естественно, необходимо учитывать при планировании.

Хотелось бы отметить и следующее. Мы говорили о том, что точность расчетов зависит от количества ГМС и постов, по которым мы проводим интерполяцию осадков. Попробуем это оценить методами математической статистики (табл. 9). Как видно из таблицы, среднее квадратическое отклонение для бассейнов рек, где используются для расчетов лишь несколько ГМС и постов в 2–3 раза больше, чем для бассейна Кулунды–Шимолино, где использовано 16 пунктов наблюдений за осадками. Полученные материалы показывают также, что при моделировании палеоклимата на

Условия формирования поверхностного стока в бассейне Кулундинского озера

Таблица 7

Изменение составляющих водного баланса за балансовый год при изменении термического режима теплого периода

| ΔT°С | Е | ΔЕ | РОТ | ΔРОТ | YR | ΔYR |
|--------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| | мм | % | мм | % | мм | % |
| Кулунда – Шимолино | | | | | | |
| -2,0 | 217,2 | -12,0 | 76,2 | +42,7 | 16,6 | +5,7 |
| -1,0 | 232,7 | -5,7 | 63,8 | +19,5 | 16,2 | +3,2 |
| 0,0 | 246,8 | 0,0 | 53,4 | 0,0 | 15,7 | 0,0 |
| +1,0 | 260,3 | +5,5 | 43,7 | -18,2 | 15,3 | -2,5 |
| +2,0 | 273,0 | +10,6 | 35,2 | -34,1 | 14,8 | -5,1 |
| +3,0 | 284,7 | +15,4 | 28,6 | -46,4 | 14,0 | -10,8 |
| +4,0 | 295,3 | +19,6 | 23,8 | -55,4 | 13,2 | -15,9 |
| Кулунда – Овечкино | | | | | | |
| -2,0 | 232,3 | -12,5 | 80,8 | +45,6 | 45,4 | +4,6 |
| -1,0 | 250,1 | -5,8 | 66,5 | +19,8 | 44,5 | +2,5 |
| 0,0 | 265,6 | 0,0 | 55,5 | 0,0 | 43,4 | 0,0 |
| +1,0 | 278,1 | +4,7 | 47,1 | -15,1 | 42,2 | -2,8 |
| +2,0 | 290,6 | +9,4 | 39,4 | -29,0 | 40,9 | -5,8 |
| +3,0 | 303,5 | +14,3 | 31,8 | -42,7 | 39,5 | -9,0 |
| +4,0 | 315,7 | +18,9 | 26,7 | -51,9 | 37,5 | -13,6 |
| Суетка – Н.Суетка | | | | | | |
| -2,0 | 222,9 | -9,3 | 41,6 | +58,8 | 11,9 | +6,2 |
| -1,0 | 233,9 | -4,8 | 34,2 | +30,5 | 11,6 | +3,6 |
| 0,0 | 245,8 | 0,0 | 26,2 | 0,0 | 11,2 | 0,0 |
| +1,0 | 257,1 | +4,6 | 21,0 | -19,8 | 10,2 | -8,9 |
| +2,0 | 266,0 | +8,2 | 17,8 | -32,1 | 9,5 | -15,2 |
| +3,0 | 274,8 | +11,8 | 15,4 | -41,2 | 8,7 | -22,3 |
| +4,0 | 283,4 | +15,3 | 13,3 | -50,8 | 8,0 | -28,6 |

Примечание: ΔT°С – изменение термического режима; Е – испарение; ΔЕ – изменение испарения; РОТ – потери; ΔРОТ – изменение потерь; YR – расчетный сток; ΔYR – изменение расчетного стока.

Таблица 8

Изменение составляющих водного баланса за балансовый год при изменении осадков балансного года (изменение осадков показано в виде уменьшения или увеличения их годовой суммы)

| ΔX, мм | Х | ΔХ | РОТ | ΔРОТ | YR | ΔYR |
|--------------------|-------|-------|------|--------|-------|--------|
| | мм | % | мм | % | мм | % |
| Кулунда – Шимолино | | | | | | |
| +200,0 | 565,0 | +30,1 | 93,6 | +73,3 | 38,4 | +144,6 |
| +100,0 | 499,9 | +14,9 | 73,5 | +37,6 | 26,0 | +65,6 |
| +50,0 | 467,4 | +7,5 | 63,4 | +18,7 | 20,4 | +29,9 |
| 0,0 | 434,8 | 0,0 | 53,4 | 0,0 | 15,7 | 0,0 |
| -50,0 | 402,3 | -7,5 | 43,5 | -18,5 | 11,9 | -24,2 |
| -100,0 | 369,8 | -14,9 | 34,3 | -35,8 | 9,2 | -41,4 |
| -200,0 | 304,7 | -30,1 | 19,7 | -63,1 | 7,8 | -50,3 |
| Кулунда – Овечкино | | | | | | |
| +200,0 | 598,9 | +27,8 | 95,0 | +71,2 | 109,5 | +152,3 |
| +100,0 | 533,9 | +13,9 | 75,1 | +35,3 | 65,9 | +58,8 |
| +50,0 | 501,3 | +7,0 | 65,2 | +17,5 | 54,9 | +26,5 |
| 0,0 | 468,8 | 0,0 | 55,5 | 0,0 | 43,4 | 0,0 |
| -50,0 | 436,2 | -7,0 | 46,1 | -16,9 | 34,0 | -28,6 |
| -100,0 | 403,7 | -13,9 | 38,3 | -31,0 | 26,5 | -38,9 |
| -200,0 | 338,6 | -27,8 | 25,4 | -54,2 | 15,7 | -63,8 |
| Суетка – Н. Суетка | | | | | | |
| +200,0 | 509,9 | +34,3 | 64,3 | +145,4 | 34,0 | +203,6 |
| +100,0 | 444,8 | +17,1 | 45,3 | +12,9 | 20,2 | +80,4 |
| +50,0 | 412,3 | +8,6 | 35,7 | +35,9 | 15,2 | +35,7 |
| 0,0 | 379,8 | 0,0 | 26,2 | 0,0 | 11,2 | 0,0 |
| -50,0 | 347,2 | -8,6 | 18,4 | -29,8 | 8,4 | -25,0 |
| -100,0 | 314,7 | -17,1 | 12,3 | -53,1 | 5,8 | -48,2 |
| -200,0 | 249,6 | -34,3 | 2,5 | -90,5 | 2,7 | -75,9 |

Примечание: Х – осадки; ΔХ – изменение осадков.

Среднее квадратическое отклонение реального и расчетного стока
в бассейнах исследуемых рек (1942–1965 гг.)

| Река, пост | F, км. кв. | X _{год.} , мм | Число ГМС | δ, мм. |
|--------------------|------------|------------------------|-----------|--------|
| Кулунда – Шимолино | 12300 | 434,8 | 16 | 6,7 |
| Кулунда – Овечкино | 1400 | 468,8 | 5 | 15,4 |
| Суетка – Н.Суетка | 692 | 379,8 | 3 | 12,6 |

Примечание: по Суетке период наблюдений 1951–1964 гг.

основании стока по равнинной территории изменение термического режима можно не учитывать. Оно много меньше влияния увлажне-

ния. Очевидно, для оценки палеоувлажнения (если мы знаем палеотемпературы региона) бессточные озера просто неопределимы.

Литература

1. Галахов В.П., Белова О.В. Влияние метеорологических условий на сток в бассейне Локтевки (Алтай) // География и природопользование Сибири. Барнаул, 2002.
2. Основные гидрологические характеристики. Л., 1975.
3. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л., 1970.
4. Абрамович Д.А. Воды Кулундинской степи. Новосибирск, 1960.
5. Апполов Б.А. Учение о реках. М., 1963.
6. Братсерт У.Х. Испарение в атмосферу. Теория, история, практика. Л., 1985.
7. Виссмен-мл. У., Харбар Т.И., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию. Л., 1979.
8. Волков Е.А. Численные методы. М., 1982.
9. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных величин. М., 1989.
10. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л., 1990.
11. Литвинов И.В. Осадки в атмосфере и на поверхности земли. Л., 1980.