

РАСЧЕТ ГОДОВОГО СТОКА НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Рассмотрены пространственное распределение и расчет годового стока неизученных рек бассейна оз. Байкал, включая российскую и монгольскую части водосбора. Получены картосхема пространственного распределения годового стока, на которой выделены девять типологически однородных районов с едиными расчетными значениями коэффициента вариации, и картосхема распределения географических параметров $\bar{q}_{\text{cp}(1300)}$ и $\bar{q}_{\text{cp}(2100)}$. Предложены формулы для расчета нормы модуля годового стока неизученных рек в зависимости от средней высоты водосбора.

Ключевые слова: *годовой сток, пространственное распределение, методика расчета.*

The spatial distribution and calculation of the annual flow of the unexplored rivers within the Lake Baikal watershed basin, including the Russian and Mongolian parts of the catchment, are discussed. The schematic map has been generated for the spatial distribution of the annual flow, highlighting nine typologically uniform areas with unified calculated values of the variation coefficient, as well as the schematic map for the distribution of the geographical parameters $\bar{q}_{\text{cp}(1300)}$ and $\bar{q}_{\text{cp}(2100)}$. Formulas are suggested for calculating the modulus of annual flow of the unexplored rivers according to the mean elevation of the catchment.

Keywords: *annual flow, spatial distribution, computational procedure.*

До настоящего времени работы по расчетам гидрологических характеристик стока рек бассейна оз. Байкал проводились для разных частей его водосбора отдельно, тем самым нарушалась бассейновая целостность территории. Между тем, именно бассейновый подход в изучении природы и экономики считается наиболее перспективным для эффективного управления окружающей средой, в том числе водопользованием [1]. В данной работе впервые предлагается методика расчета годового стока недостаточно изученных рек в пределах всего бассейна Байкала. Для этого использованы данные гидрометрических наблюдений по 76 постам, равномерно распределенным по всему бассейну озера — по 58 российским и 18 монгольским. Средняя продолжительность наблюдений составила 43 года.

Исходя из того, что для подавляющего большинства рядов значений среднего годового расхода воды выполняются требования однородности, независимости и соответствия трехпараметрическому гамма-распределению, анализ пространственного распределения годового стока можно свести к анализу закономерностей распределения параметров его многолетних колебаний \bar{Q}_{cp} или \bar{q}_{cp} , C_v и C_s/C_v . Анализ полученных по рядам многолетних наблюдений оценок соотношений коэффициентов асимметрии и вариации (C_s/C_v) показал, что расхождения в оценках C_s/C_v разных пунктов не выходят за пределы вероятных ошибок их определения, поэтому с учетом выводов и рекомендаций ранее выполненных работ для всей территории бассейна оз. Байкал принято единое расчетное значение $C_s/C_v = 2$.

Полученный в ходе работы вывод об отсутствии достаточной связи между C_v и площадью водосбора F в рассматриваемых диапазонах площадей и учет физико-географических условий бассейна позволили выделить девять относительно однородных районов с едиными расчетными значениями C_v годового стока (рис. 1).

Величина относительной изменчивости годового стока в пределах рассматриваемой территории варьирует от 0,15 до 0,65. Исключение составляют два пункта из 76 — это участки верхнего течения рек Хилок и Туул, где значения коэффициента вариации значительно выше. Например, в створе р. Хилок (ст. Сохондо, $F = 1900 \text{ км}^2$) $C_v = 1,32$. Годовой модуль стока в этом пункте изменяется от 0,01 (1978 г.) до 5,84 л/(с·км²) (1984 г.). Зимой река ежегодно перемерзает, а летом в засушливые маловодные годы пересыхает. В отдельные годы на реке не бывает стока в течение девяти месяцев (1965, 1967 гг.). В створе р. Туул (г. Улан-Батор, $F = 6300 \text{ км}^2$) $C_v = 0,82$, что объясняется часто наблюдающимися здесь пересыханием и перемерзанием реки, а также значительной антропогенной нагрузкой. В данном створе среднегодовые расходы воды колеблются в больших пределах, и их значения могут различаться до 13 раз. Например, в 1972 г. $Q_{\text{cp}} = 5,00 \text{ м}^3/\text{с}$, а в следующем 1973 г. — $60,5 \text{ м}^3/\text{с}$, также в 1993 г. $Q_{\text{cp}} = 65,3 \text{ м}^3/\text{с}$, а в 1996 г. — $7,76 \text{ м}^3/\text{с}$. Зимнего стока не наблюдается в 60 % случаев из всего периода наблюдений.

Анализируя полученную картосхему с типологически относительно однородными районами, можно заметить, что величина изменчивости годового стока имеет общую тенденцию увеличения с севера на юг. Самой малой изменчивостью годового стока отличаются северные реки (типологический

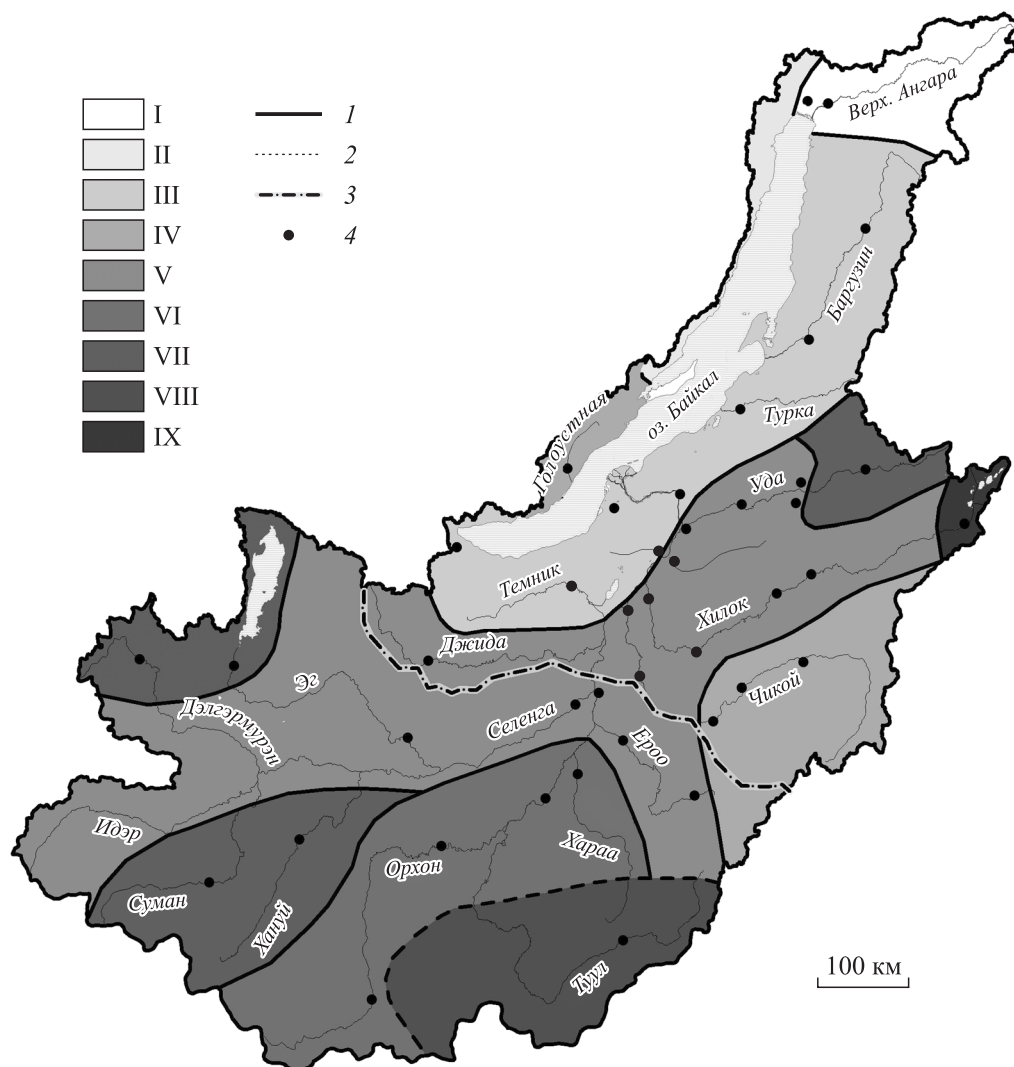


Рис. 1. Типология районов бассейна оз. Байкал по распределению коэффициента вариации годового стока.

I–IX — номера типологически однородных районов. Границы: 1 — однородных районов, 2 — условно однородных районов, 3 — государственная. 4 — гидропосты.

район I), на которых сток талых вод преобладает над дождевым; здесь $C_v = 0,15$. Район отделяется от соседних границами водоразделов. Бассейны небольших рек северо-западной оконечности Байкала образуют отдельный район II с $C_v = 0,20$ (см. рис. 1).

Водосборы рек обширной Баргузинской котловины, а также Селенги от устья Темника (включая его бассейн) до ее дельты и всех рек, впадающих в южный Байкал от Селенги до истока Ангары, объединяются в один район III с $C_v = 0,25$. Для рек Хэнтей-Чикойского нагорья характерна изменчивость годового стока, равная 0,30. Такой же коэффициент C_v имеют реки Голоустная и Амга. Все эти реки относятся к одному району IV. Район V ($C_v = 0,40$) занимает наиболее засушливую центральную, относительно равнинную, территорию Западного Забайкалья и далее широкой полосой тянется по долине Селенги вплоть до верховьев р. Идэр, включая бассейны крупнейших левобережных притоков Эг и Джида.

Бассейн главного притока Селенги на территории Монголии — р. Орхон — образует отдельный район VI ($C_v = 0,50$). Выделяются верховья рек Дэлгэрмүрэн, Эг и Уда с более высокими коэффициентами вариации ($C_v = 0,60$) (район VII). Значительной изменчивостью годового стока обладает наиболее сильно подверженная хозяйственной деятельности р. Туул, здесь $C_v = 0,80$ (район VIII). И, наконец, самым большим коэффициентом ($C_v = 1,3$) отличается верхнее течение р. Хилок (район IX) (см. рис. 1).

Границы выделенных типологически относительно однородных районов с едиными расчетными значениями C_v можно считать достаточно устойчивыми. Данное районирование хорошо согласуется

и подтверждает (а в некоторых случаях уточняет) выводы, сделанные в работах [2–4]. Установленные границы хорошо объясняются с точки зрения физической географии: по рельефу, преобладающим типам почв, основным видам растительного покрова и т. д. Это подтверждается также прекрасным сочетанием с комплексным физико-географическим районированием, выполненным в работах [5, 6]. Средняя погрешность предлагаемой картосхемы составляет 11,4 %.

При анализе пространственного распределения среднего многолетнего значения модуля годового стока $\bar{q}_{\text{ср}}$ успешно подтверждается вывод предшествующих исследователей Забайкалья о целесообразности учета средней высоты водосбора \bar{h} , как интегрального показателя условий формирования стока рек горных территорий [3, 7]. Таким образом, использование более продолжительных рядов позволило уточнить значение $\bar{q}_{\text{ср}}$ в пунктах наблюдений и, в конечном итоге, получить более статистически обоснованную единую для всего бассейна оз. Байкал эмпирическую зависимость:

$$\bar{q}_{\text{ср}} = \bar{q}_{\text{ср}(1300)} + 0,016(\bar{h} - 1300), \quad (1)$$

где $\bar{q}_{\text{ср}(1300)}$ — картографируемый параметр, который можно интерпретировать как норму модуля, приведенную к абс. выс. 1300 м.

Предложенная эмпирическая формула для расчета нормы модуля справедлива для водосборов, средние высоты которых не превышают абс. выс. 1700 м. Выбор этой высоты обусловлен тем, что она соответствует средней высоте водосборов — от 850 до 1700 м (в этих пределах находятся средние высоты 83 % рассматриваемых водосборов). Исключение составляют реки верховьев Селенги на территории Монголии, где средние высоты водосборов значительно превышают 1700 м. Общая приподнятость рассматриваемой территории относительно российской части бассейна оз. Байкал, а также широта и местные почвенно-геологические условия вносят коррективы в процесс формирования годового стока.

Отметим, что на высоко расположенных водосборах монгольской части бассейна Селенги зависимость стока от средней высоты водосбора \bar{h} проявляется нечетко. Здесь в диапазоне \bar{h} от 1700 до 2500 м абс. выс. среднегодовой модуль стока остается относительно стабильным и варьирует в пределах всего от 0,62 л/(с·км²) (р. Бэлтэс—с. Баянзурх: $\bar{h} = 2110$ м абс. выс., $F = 5040$ км²) до 2,44 л/(с·км²) (р. Эг—с. Хантай: $\bar{h} = 1710$ м абс. выс., $F = 41\,000$ км²). К тому же, выявление четких зависимостей стока от средней высоты водосбора в верховьях Селенги в данной работе затрудняет малое количество используемых гидрометрических постов. Так, их плотность здесь — один пост на 20 000 км² (в разработке методики использовались данные наблюдений 15 постов из 18, по остальным не определены средние высоты водосборов), тогда как в нижнем течении Селенги — один пост на 3800 км². В целом, недостаточно развитая гидрометрическая сеть и слабая изученность составляющих водного баланса по сравнению с российской территорией затрудняют выяснение степени влияния отдельных природно-климатических, а также антропогенных факторов на средний годовой сток рек и учет этого влияния при оценке нормы стока неизученных рек.

Тем не менее, тщательный анализ имеющихся в наличии материалов, а также использование выводов, полученных в работах [4, 8], позволили предложить также единую для всего бассейна оз. Байкал эмпирическую зависимость, рекомендуемую при оценке годового стока неизученных рек со средними высотами водосборов больше 1700 м абс. выс.:

$$\bar{q}_{\text{ср}} = \bar{q}_{\text{ср}(2100)} + 0,003(\bar{h} - 2100), \quad (2)$$

где $\bar{q}_{\text{ср}(2100)}$ — картографируемый параметр, который также можно интерпретировать как норму модуля, приведенную уже к абс. выс. 2100 м.

Таким образом, при средней высоте водосбора не более 1700 м следует пользоваться формулой (1), при больших высотах — формулой (2). Обобщенная картосхема распределения параметров $\bar{q}_{\text{ср}}$ годового стока, полученная путем отнесения их фактических значений к центрам соответствующих водосборов и выделения по ним относительно однородных районов, представлена на рис. 2. Всего выделено восемь типов районов с едиными расчетными значениями параметров $\bar{q}_{\text{ср}}$. Следует отметить, что при выделении однородных районов большое внимание уделялось географическим факторам пространственной изменчивости $\bar{q}_{\text{ср}}$. Предложенное типологическое районирование в сочетании с формулами (1) и (2) позволяет определять норму годового стока неизученных рек со средней ошибкой 18,6 %.

Величина параметра $\bar{q}_{\text{ср}}$ изменяется по территории бассейна оз. Байкал в широких пределах — от 0,5 (район VIII) до 15,0 (район I). Наибольшие значения $\bar{q}_{\text{ср}}$ наблюдаются в ее северной части — район I (см. рис. 2) и около Байкала — район II ($\bar{q}_{\text{ср}} = 10,0$). Обширную центральную часть рассматриваемой территории представляет бассейн Селенги без верховьев правых притоков и условно до государственной границы на юге (расчетное значение $\bar{q}_{\text{ср}} = 8,0$, район III). Водосборы рек восточной части бассейна оз. Байкал выделяются в отдельный район IV со значением $\bar{q}_{\text{ср}} = 6,0$. В высоко рас-

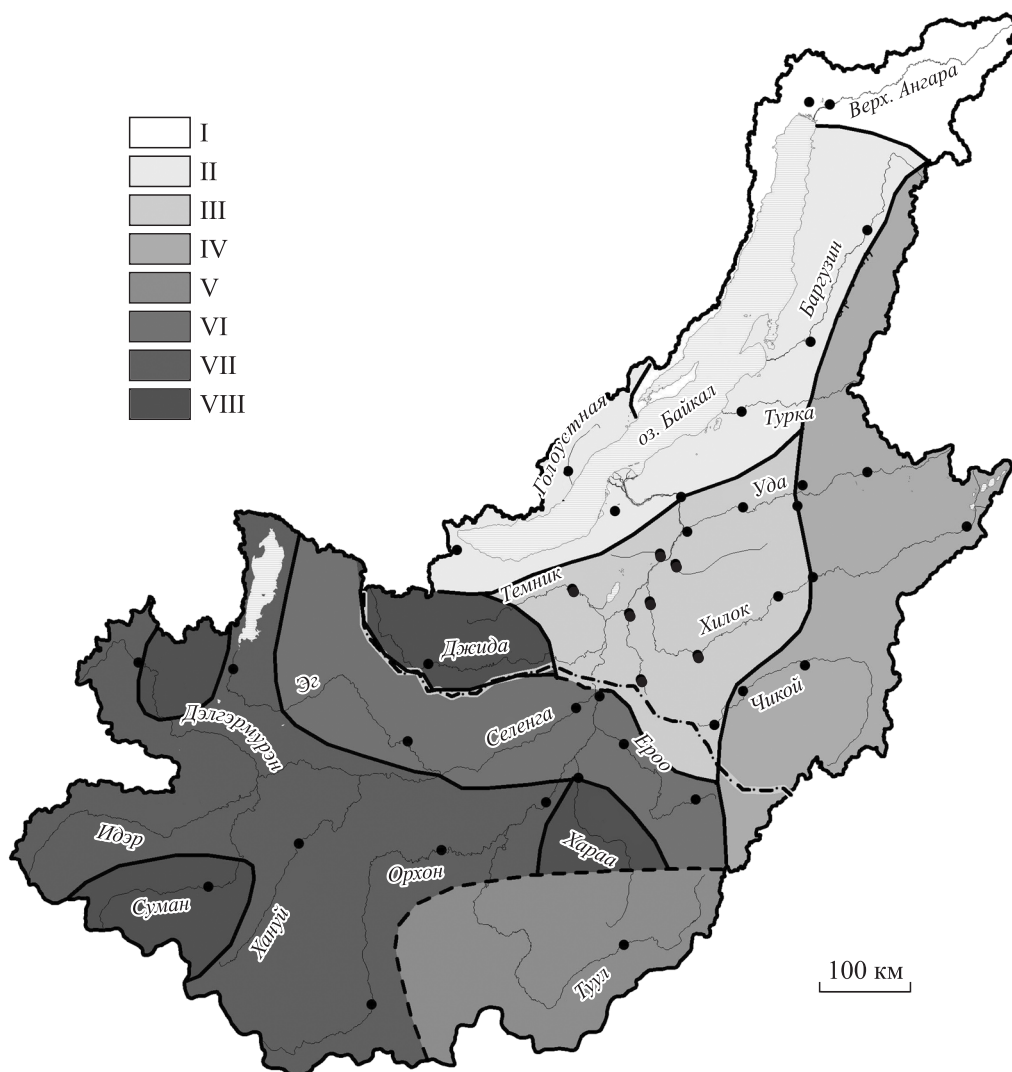


Рис. 2. Типология районов бассейна оз. Байкал по пространственному распределению параметра $\bar{q}_{\text{ср}}$ годового стока.

I–VIII — номера типологически однородных районов. Усл. обозн. см. на рис. 1.

положенных частях рассматриваемого бассейна, где средние высоты водосборов рек превышают 1700 м, расчетные значения $\bar{q}_{\text{ср}}$ значительно ниже — переходный район VI с $\bar{q}_{\text{ср}} = 4,0$. Самый большой по площади район VII занимает практически весь водосбор верхнего течения р. Селенги ($\bar{q}_{\text{ср}} = 2,0$). Исключение составляют относительно небольшие водосборы рек Бэлтэс, Суман, Хараа, а также Джигида, которые объединены в один район VIII с $\bar{q}_{\text{ср}} = 0,5$. В отдельный район V с условными границами (так как для такой огромной территории имеется всего один гидрометрический пункт) выделен самый юго-восточный водосбор р. Туул ($\bar{q}_{\text{ср}} = 5,0$).

Таким образом, полученные при данном исследовании выводы о закономерностях пространственного распределения годового стока позволяют предложить методику расчета годового стока неизученных рек бассейна оз. Байкал, которая несколько уточняет разработанные ранее [3, 9, 10]. Предлагаемая методика более надежна вследствие использования большего объема данных наблюдений (как количества постов по российской территории, так и длины ряда) и более тщательного учета географических факторов. Полученные в работе выводы рекомендуется использовать для оценки среднего годового стока неизученных рек с площадями водосборов от 500 до 20 000 км².

В то же время следует обратить внимание на то, что в данном случае используются только материалы гидрометрических наблюдений [2, 9]. Таким образом, информация о важнейших климатических факторах стока (осадках, испарении) учитывается только косвенно. Например, существует более совершенная методика расчета годового стока неизученных рек Забайкалья, разработанная в 1980-е гг.

на кафедре гидрологии суши МГУ [11–13]. В этой методике норму модуля годового стока предлагается рассчитывать по эмпирическим зависимостям от разности между нормами осадков и испарения. При этом для Забайкалья в целом получена относительная ошибка расчета 12 %. Для расчета изменчивости годового стока $\sigma = C_v \cdot \bar{q}_{\text{ср}}$ предлагаются теоретическая формула и вспомогательная картосхема дисперсии разности осадков и испарения, что позволяет достичь погрешности расчета σ годового стока 13 %. В разработке этой методики, к сожалению, не использовались данные по территории Монголии.

Таким образом, предложенная в настоящей работе методика расчета годового стока неизученных рек бассейна оз. Байкал впервые применена в масштабе всей водосборной территории. Ее польза заключается в том, что она применима при отсутствии репрезентативных метеорологических данных, а также является основой для получения более совершенной методики расчета годового стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корытный Л. М.** Бассейновая концепция в природопользовании. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. — 163 с.
2. **Гармаев Е. Ж.** Пространственно-временные закономерности стока рек Бурятии в теплый период года. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2000. — 116 с.
3. **Гармаев Е. Ж., Евстигнеев В. М., Христофоров А. В., Шайбонов Б. Б.** Сток рек Бурятии. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2000. — 189 с.
4. **Монгол орны гадаргын ус / Хянан тохиолдуулсан Мягмаржав Б., Даваа Г.** — Улаанбаатар, 1999. — 250 х.
5. **Атлас Забайкалья / Под ред. В. Б. Сочавы.** — Иркутск: ГУГК, 1967. — 176 с.
6. **Монгол улсын үндэсний атлас. II хэвлэл / Ерөнхий ред. Д. Доржготов.** — Улаанбаатар, 2009. — 248 х.
7. **Христофоров А. В.** Надежность расчетов речного стока. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. — 168 с.
8. **Гидрологический режим рек бассейна р. Селенги и методы его расчета / Под ред. В. А. Семенова, Б. Мягмаржава.** — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 235 с.
9. **Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16, вып. 3: Бассейн оз. Байкал.** — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 400 с.
10. **СП 33–101–2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».** — М., 2003. — 70 с.
11. **Евстигнеев В. М.** Применение метода водного баланса в региональных обобщениях данных по среднемноголетнему стоку рек (на примере Забайкалья) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. — 1983. — № 3. — С. 73–79.
12. **Евстигнеев В. М., Дмитрук В. Н.** Расчеты годового стока на основе уравнения водного баланса (на примере Забайкалья) // Мелиорация и водн. хоз-во. — 1985. — № 7. — С. 43–46.
13. **Евстигнеев В. М., Шенберг Н. В.** Использование метеорологических данных в расчетах среднего многолетнего стока рек горных районов (на примере Забайкалья) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 1984. — № 4. — С. 41–47.

Поступила в редакцию 16 марта 2010 г.