О ВЫСОТНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ РЕЧНОГО СТОКА В МОНГОЛИИ

Болгов М.В. , Трубецкова М.Д.

На примере Монголии исследовалась задача описания высотной зональности стока, проявляющейся в наличии зон формирования и рассеивания стока. Задача является обратной, некорректно поставленной; она решалась методом регуляризации А.Н. Тихонова для ряда районов Монголии, выделенных по принципу горно-равнинных комплексов. Для шести гидрологических районов Монголии установлено высотное положение границы зон формирования и рассеивания стока.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное природопользование невозможно без изучения водного режима рек, одной из важнейших характеристик которого в горных районах является зависимость речного стока от высоты водосбора. Как правило, для построения такой зависимости необходимо связать сток с водосбора с высотой его центра тяжести. Однако такой подход не является единственно возможным: для исследования высотной зональности используется зависимость стока от определенной высотной зоны. В этом случае можно получить более детальное описание условий формирования стока, а также более надежные методы его расчетов. Это особенно актуально для водосборов рек, имеющих зоны формирования и рассеяния стока. К таким рекам относятся реки, берущие начало в горах и теряющие большую часть своего стока (или полностью рассеивающиеся) в засушливых низовьях.

Именно такие географические условия характерны почти для всей территории Монголии. На ее примере в данной работе исследуется задача описания высотной зональности стока. В работе использованы результаты обобщений данных по стоку рек по 48 постам.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА МОНГОЛИИ

Основной гидрологической закономерностью Монголии является высотная зональность в изменении большинства гидрометеорологических элементов, которая находит своё «крайнее» выражение в наличии зон формирования и рассеивания стока. Начиная с некоторой высотной отметки, потери на фильтрацию из русел транзитных рек значительно превышают приток от эпизодических ливней. Так, по данным [2], средние величины уменьшения стока воды по длине реки в период паводков и летне-осенней межени (в л/сек. на 1 км русла) изменяются в Котловине Больших Озер от 35 до 45, а в Долине Озер от 20 до 35. Указанная особенность гидрологического режима приводит к необходимости рассматривать территорию как совокупность горно-равнинных комплексов. По мере приближения к рубежу выхода из гор абсолютная величина стока в данной речной системе будет непрерывно возрастать в соответствии с возрастанием площади водосбора. Одновременно с возрастанием абсолютной величины стока, по мере приближения к началу предгорного шлейфа, убывает удельная водоносность, что объясняется возрастанием потерь.

При выходе на предгорный шлейф условия формирования поверхностного стока качественно изменяются. Скачком возрастает мощность пролювия и делювия (со значительной и провальной впитывающей способностью), в результате чего величина расхода воды в русле реки по мере продвижения вниз по предгорному шлейфу непрерывно уменьшается (до нуля). Здесь имеется зона рассеивания стока. Вблизи днища грунтовые воды предгорного шлейфа нередко выклиниваются - наблюдается вторично активная зона. Далее сток может некоторое время меняться незначительно, а затем полностью рассеивается в межгорных котловинах и на предгорьях.

В [1] предложено гидрологическое районирование МНР, исходя из наличия горно-равнинных комплексов. По режиму рек выделяются четыре гидрологические провинции:

Алтайская (реки с весенне-летним половодьем и паводками, иногда смешанного снего-дождевого происхождения),

Хангай-Хэнтэйская (реки с весенним половодьем и паводками в теплую часть года, паводки преобладают над весенним половодьем, значительную долю занимает зона рассеивания стока),

Восточно-Монгольская (постоянные поверхностные водотоки отсутствуют, однако характерны сильные дожди, в результате которых образуются бурные потоки, теряющиеся в песках межгорных котловин),

Гоби-Алтайская (район практически не изучен, наблюдаются дождевые паводки во временных руслах).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОЯСНОМ (ВЫСОТНО-ЗОНАЛЬНОМ) СТОКЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕКОРРЕКТНО ПОСТАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ

Постановка задачи

При анализе гидрологического режима горных рек представления о величинах стока могут быть получены двумя путями. Первый путь - метод водного и теплового балансов; второй - решение обратных задач. В нашем случае данные, необходимые для расчета по методу водного баланса, отсутствуют, и поэтому решается обратная задача, формулируемая следующим образом: по данным о стоке в замыкающих створах больших и средних рек необходимо выяснить его высотное распределение, т.е. решить задачу о поясном стоке.

Суть проблемы заключается в следующем. В горных районах, при наличии высотной поясности (зональности) природных комплексов, для отражения зональности гидрологических характеристик, используются зависимости двух типов:

$$Y=F(H_{cp})$$
$$Y = \sum f_i y_i ,$$

где H_{cp} - средняя высота водосбора, Y - норма стока, f_i - относительная площадь высотной зоны, y_i - поясной сток (сток с i -го высотного пояса).

Если мы располагаем несколькими пунктами измерений величины Y, то имеем систему уравнений

$$\begin{aligned} Y_1 &= \sum_i f_{1,i} y_{1,i} \\ Y_2 &= \sum_i f_{2,i} y_{1,i} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ Y_m &= \sum_i f_{m,i} y_{m,i} \end{aligned} \qquad (1)$$

В предположении $y_{k,i} = y_{p,i}$ для любых i , k , p система упрощается:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \sum_i f_{1,i} y_i \\ Y_2 &= \sum_i f_{2,i} y_i \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ Y_m &= \sum_i f_{m,i} y_i \end{aligned} \qquad (2)$$

Или в матричной форме

$$Y=Ay \quad , \qquad (3)$$

где А - матрица с элементами $f_{i,j.}$

Исследовалась возможность точного решения задачи о поясном стоке с помощью методов Гаусса и наименьших квадратов. В исследуемых ландшафтах, в гидрологическом отношении выделяются зоны формирования, транзита и рассеивания стока. Последнее означает, что при решении системы (3) величины поясного стока для нижних высотных зон должны иметь отрицательные значения.

В случае устойчивости обратной задачи вопрос о поясном стоке был бы исчерпан, однако реализация методов Гаусса и наименьших квадратов для имеющихся данных наблюдений выявила ее неустойчивость. Система (3) является плохо обусловленной, а обратная задача - некорректно поставленной (по А.Н. Тихонову [3], т.е. малые изменения исходных данных могут вызвать большие изменения в ее решении. В связи с этим осуществлена попытка решения системы уравнений (3) на основе метода регуляризации А.Н. Тихонова.

Зоны формирования и рассеивания стока

Ниже рассматриваются решения задачи о поясном стоке для ряда районов Монголии, выделенных по принципу горно-равнинных комплексов. Особенности применения этого метода к решению задачи о поясном стоке проиллюстрированы на рис. 1, 2 для Буянт-Зулганского и Онги-Байдарагского районов

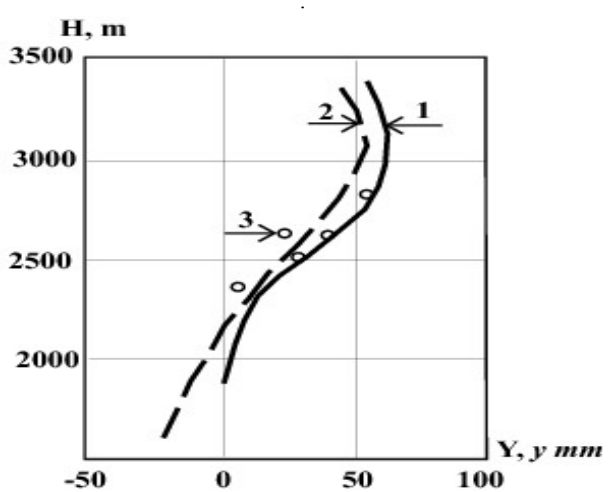

Рисунок 1. Зависимости нормы стока Y (3) и поясного стока (1, 2, 4) от высоты для Буянт-Булганского района.

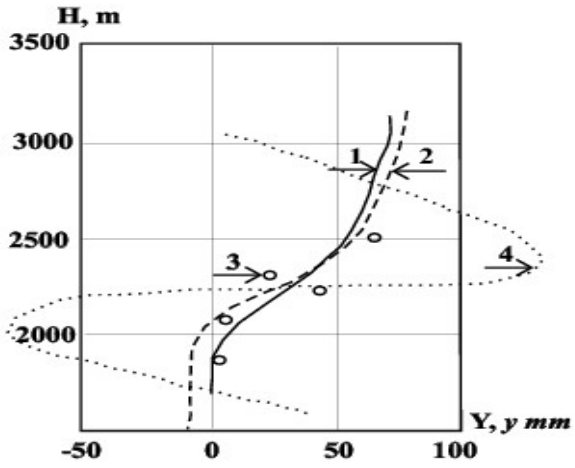

Рисунок 2. Зависимости нормы стока *Y* (3) и поясного стока (1, 2, 4) от высоты для Онги-Байдарагского районов.

При решении системы (3) методом регуляризации следует иметь в виду следующее.

1. Начиная с некоторой высоты, регуляризованное решение уходит в отрицательную область (кривая 2 на рис. 1, 2). Это означает наличие зоны рассеивания стока. В этом случае решение системы (3) уже не является поясным стоком, а представляет собой некоторый баланс. Нулевое значение этого баланса соответствует равенству бокового притока и потерь в русле. Соответствующая этому значению баланса высота может быть принята в качестве границы зон формирования и рассеивания стока. Зона рассеивания стока может быть названа иначе зоной русловых потерь. Для суждения об истинных величинах поясного стока необходимо исключить из расчета бассейны, чьи замыкающие створы расположены в зоне рассеивания стока. Кривая 1 на рис. 1, 2 есть решение системы в этом случае. Значение параметра регуляризации α назначалось по принципу невязки. Погрешность левой части (3) принималась при этом равной ≈ 10 %.

2. Следует иметь в виду распределение площади водосбора по высотным диапазонам. Размер водосборной площади верхних диапазонов очень мал, и их вклад в стокообразование меньше погрешности нормы стока. Значительное (сравнительно с долей водосборной площади) значение параметра регуляризации приводит к существенному искажению решения - занижению стока. Для устранения этого "дефекта" необходимо укрупнять крайние высотные диапазоны.

Для районов Монголии, где позволяла исходная информация, рассмотрены зависимости $y=f(H)$ (рис. 3). Для некоторых районов таких решений нет, например для Халхин-Гольского и Ононского, а некоторые районы были укрупнены, поскольку характер зависимости $Y=f(H_{ср})$ позволял говорить в этих случаях только об одном районе. Удовлетворительное решение задачи о поясном стоке можно получить только тогда, когда имеется достаточно значимая зависимость нормы стока от средней высоты водосбора. Таким образом, удовлетворительные зависимости $y=f(H)$ получены для шести гидрологических районов, выделенных по принципу горно-равнинных комплексов. Для двух из них решения, ввиду ограниченности информации, показаны на рис. 3 пунктиром.

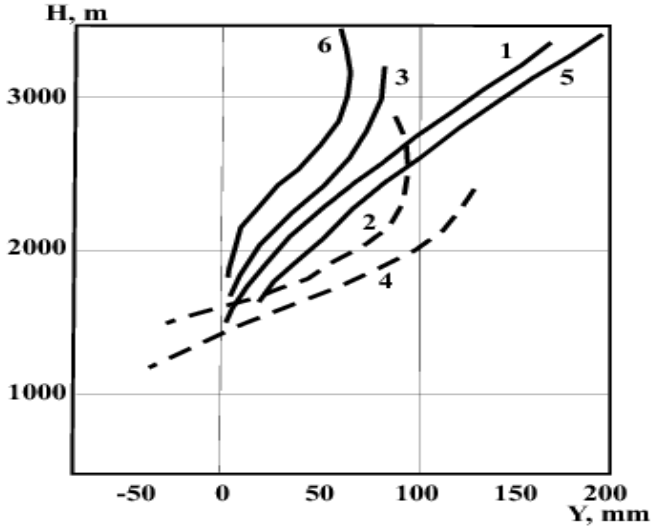

Рисунок 3. Зависимости поясного стока от высоты для некоторых районов МНР: Идэр-Орхонского (1), Богд-Чигестейского (2), Онги-Байдарагского (3), Хара-Херуленского (4), Ховдо-Хархирисского (5), Буянт-Булганского (6).

а) Ховдинский и Хархирасский районы по характеру зависимости $Y=f(H_{ср})$ объединены в один район. Зависимость $y=f(H)$ начиная с высоты 1700 м уходит в отрицательную область. С ростом высоты значения поясного стока возрастают до 200 мм. Этот район расположен в лесной зоне на самом западе страны. Наличие существенного сезонного и многолетнего снежного покрова, а также то, что в Монголии основное направление переноса влаги - западное, и объясняет достаточно большие значения стока и весь характер зависимости $y=f(H)$. Для расчетов использовались норма стока и гипсометрические кривые рек Кобдо, Сагсай, Цаган-гол, Хархира.

б) Также в один район объединены данные наблюдений на реках Буянтинского и Уенч-Булганского районов. Использовались данные рек Буянт, Булган, Уенч. Начиная с высоты 2100 м, зависимость $y=f(H)$ уходит в отрицательную область. До высоты примерно 3000 м наблюдается увеличение поясного стока до величины около 50 мм. Далее начинается уменьшение стока. Зона формирования стока здесь занимает Монгольско-Алтайскую лесорастительную область.

в) В Идэр-Орхонском гидрологическом районе использовались данные наблюдений на реках Орхон, Идэр, Уряд-Тамир, Хойт-Тамир и Бугсэй. Зона рассеивания стока здесь весьма незначительна и начинается с высоты 1800 м. Поясной сток постоянно возрастает с ростом высоты. Район располагается в пределах Северо-Хангайской подпровинции леса и степи Евроазиатской степной области. Диапазон высот, в пределах которого наблюдаются значительные величины стока, совпадает с высотными границами лесной и альпийской горно-луговой зон.

г) Богд-Чигэстэйский район располагается в пределах двух геоботанических провинций: Хангайской горно-лесостепной и Монгольско-Алтайской горно-степной. Для расчетов привлекались данные по рекам Богд, Чигэстэй, Хунгуй, Дзабхан. Граница зоны формирования стока находится на высоте 1300 м и совпадает с границей указанных выше геоботанических провинций. Наибольшие величины поясного стока располагаются на высотах свыше 2300 м.

д) Онги-Байдарагский гидрологический район располагается в основном в пределах двух геоботанических провинций: Северо-Гобийской пустынно-степной и Хангайской горно-лесостепной. Граница зон формирования и рассеивания стока располагается на высоте 2100 м и соответствует примерно границе между указанными провинциями.

е) Хара-Хэрлэнский район располагается на востоке страны в пределах Забайкальской горно-таежной и Даурско-Монгольской степной провинций. Выделяется зона рассеивания стока (до высот 1400 м) и зона увеличения стока.

Очертив в пределах каждого района зону формирования стока, получим на рис. 4 её общее распространение в пределах страны (с учетом геоботанических и т.п. условий). Наиболее высокое положение границы зон формирования и рассеивания стока (2100 м) соответствует наиболее засушливым районам, в более влажных районах эта граница опускается и достигает 1400 м в Хара-Керуленском районе. Диапазон с наибольшими величинами стока соответствует, как правило, лесостепной и лесной зонам.

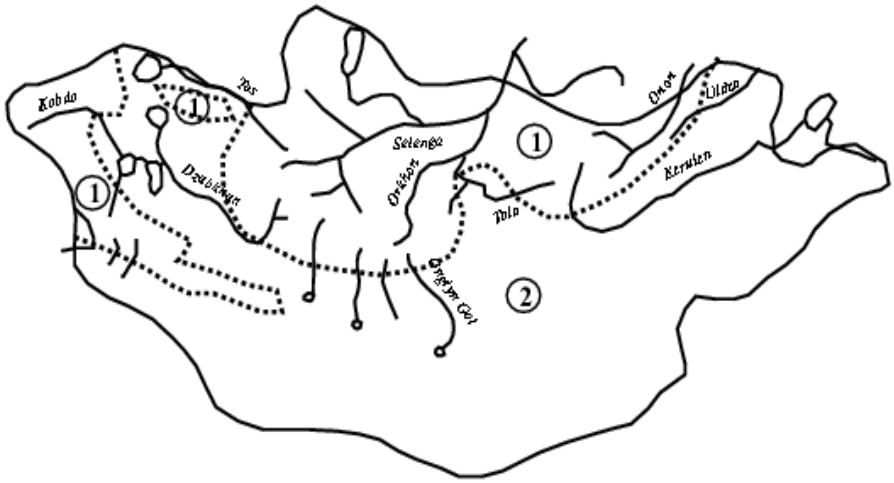

Рисунок 4. Зоны формирования (1) и рассеивания (2) стока.

ВЫВОДЫ

Основной особенностью речного стока Монголии является наличие зон его формирования и рассеивания. Выделение этих зон и выяснение общих закономерностей высотной зональности гидрологических характеристик возможно на основе решения задачи о поясном стоке, которая является обратной некорректно поставленной.

Путём решения задачи о поясном стоке рек Монголии методом регуляризации А.Н.Тихонова получены представления о величинах поясного стока. Для основных гидрологических районов страны установлено высотное положение границы зон формирования и рассеивания стока с учетом геоботанических условий. Наиболее высокое положение ее (2100 м) соответствует наиболее засушливым районам, в более влажных районах она опускается до 1400 м. Наибольшие величины стока характерны для лесостепной и лесной зон.

Показано, что для высокогорной части бассейнов некоторых рек наблюдается уменьшение стока с высотой.

Литература

1. *Сампилноров Н.* Гидрологическое районирование МНР // Дисс. уч. ст. к.г.н., Ташкент, 1980. 167 с.
2. *Семенов В.А., Мягмаржав В., Дашделег П.* Основные стокообразующие факторы и некоторые особенности формирования поверхностного стока на территории МНР // Тр. КазНИГМИ, 1973, вып. 50. С. 126-139.
3. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач // М.: "Наука", 1974. 222 с.

ON THE ALTITUDE ZONING OF RIVER RUNOFF IN MONGOLIA

Bolgov M.V., Trubetskova M.D.

On the example of Mongolia, the problem of the river runoff altitude zonality is investigated. The zonality reveals itself in the existence of zones of runoff formation and scattering. The problem is an ill-posed inverse one; it has been solved using Tikhonov regularization method for several regions of Mongolia delimited by the principle of mountain-plain complexes. For six hydrological regions of Mongolia, the altitude of the border between the zones of runoff formation and scattering was estimated.