УДК 551.48+627.133; 57.08: 631.95: У 34 (2) 10-52

МОНИТОРИНГ РЕКИ ПО ДЛИНЕ И ПАДЕНИЮ ПРИТОКОВ

Михайлова С.И., Мазуркин П.М., Иванов А.А.
Марийский государственный технический университет
Йошкар-Ола, Россия

Предложено техническое решение для учета влияния растительного покрова, множества орографических факторов и инновационных мероприятий природоохранного обустройства водных ландшафтов на изменение площади водосбора.
При многократных измерениях речной сети во времени образуется статистический материал для мониторинга реки и их притоков по состоянию водосборов, то есть слежении в динамике формирования речного ландшафта.

Ключевые слова: малая река, параметры, экологический мониторинг.

Изобретение [2] относится к гидрологии рек и водосборным бассейнам речных сетей и может быть использовано при оценке водных ресурсов методами статистического моделирования [3], а также при учете влияния растительного покрова, множества орографических факторов и инновационных мероприятий природоохранного обустройства водных ландшафтов на изменение площади водосбора отдельных групп притоков.

При многократных измерениях речной сети во времени образуется статистический материал для мониторинга реки и их притоков по состоянию водосборов, то есть слежении в динамике формирования речного ландшафта.

Существующие способы измерения речной сети

Известен способ измерения площади водосбора по длине и падению притоков [2, с..47-48)], включающий измерение длины притоков реки (натурные измерения или измерения длин по картам), классификация измеренных притоков реки по Р. Хортону по различным порядкам водотоков, начиная от самых малых неразветвленных притоков, вычисление суммы длин водотоков данного порядка, вычисление средней длины притоков каждого порядка делением суммы длин на количество водотоков данного порядка, вычисление отношения средней длины притоков данного порядка к средней длине притоков следующего более низкого порядка, учет коэффициента бифуркации числа притоков (данного порядка водотоков по принадлежности к реке, то есть к основному водотоку) в зависимости от типа местности.

Недостатком этого способа является то, что не учитываются в расчетах падение отдельных притоков речной сети, а расчеты по средним арифметическим длинам притоков не дают достаточной для практической гидрологии точности вычислений площади водосбора, прежде всего, при наличии неизмеренных территорий водосборов притоков.

Известен также способ измерения площади водосбора по длине и падению притоков [2, с.58-59)], включающий измерение длины притоков реки (натурные измерения, измерения длин по картам или по сведениям, полученным от местных жителей), измерение площади водосбора в натуре (геодезическими приемами аэрофотосъемки или космической съемки), или по карте с помощью планиметра или палетки (инструментальные способы картометрии), или непосредственно на местности, используя наземные геодезические приемы и приборы, использование среднестатистической формулы $L = 2,9\sqrt{S}$, где L - длина реки (притока), км, S - площадь водосбора притока или всей реки, км^2, для больших рек бывшей СССР, Китая и США в виде эмпирической модели для описания связи между площадью бассейна и длиной реки по измеренным притокам реки, а по неизмеренным

притокам вычисление расчетного значения площади притока выполняется по указанной эмпирической формуле.

Недостатком прототипа является также то, что не учитываются в эмпирической формуле падение притоков, то есть разница по высоте между истоком и устьем каждого притока. Применение простой среднестатистической для бывшей ССР, Китая и США эмпирической зависимости не дает необходимой для практических целей точности. В эмпирической формуле, которую можно записать еще в виде $L = 2,9S^{0,5}$, то есть в форме закона аллометрического роста, не учитывается важнейший параметр - падение притоков. Причем оба параметра этой модели, активность роста 2,9 (для небольших бассейнов речной сети рекомендуется коэффициент около 1,6) и интенсивность роста 0,5 являются грубо приближенными. Эта формула является трендом большого числа речных систем и поэтому недостаточно объективно описывает конкретную речную сеть. Большие погрешности наблюдаются при использовании этой формулы для описания речной сети, расположенной в холмистой местности, а также невозможно учесть фактор растительного покрова на территории бассейна притока реки.

Инновационный способ мониторинга на уровне мировой новизны

Технический результат патента [2] – повышение количества учитываемых факторов растительного покрова и орографических особенностей и точности расчетов площади водосбора с одновременным учетом наличия растительности, а также длины и падения притоков.

Этот технический результат достигается тем, что дополнительно у притоков реки измеряют падение притоков как разность высоты между истоком и устьем каждого притока, все измеренные притоки реки распределяют по отличительным группам в зависимости от состояния и качества территорий бассейнов водосбора.

Затем по притокам каждой отличительной группы выявляют трендовые закономерности типа $S = f(L, H)$ многофакторного влияния длины и падения притоков на изменение площади их водосбора.

После этого по ошибкам отклонения измеренных значений площади водосбора притоков от расчетных значений, полученных после вычислений по вывяленным трендовым закономерностям, оценивают влияние отличительных орографических особенностей рельефа и ландшафта, расположенных на территории водосбора, по каждому отдельному отличающемуся от трендовых закономерностей притоку.

Отличительные группы определяют по наличию растительного покрова и состоянию растительности на площади водосбора каждого притока. Например, в простейшем случае возможна классификация качества растительного покрова и растительности по группам:

0 – не имеется растительности (водосборный бассейн первичного притока частично до 40 % по площади имеет в качестве растительного покрова только траву низкого качества);

1 – имеется мало растительности на площади водосбора по сравнению с потенциальной продуктивностью почвы (менее 40% от биологической продуктивности травяного покрова);

2 – хорошая растительность имеется в момент измерения на площади водосбора, то есть площадь водосбора первичного притока имеет хороший (по площади территории более 60 %) и богатый (по видовому разнообразию растений) растительный покров.

По притокам каждой отличительной группы выявляют трендовые закономерности типа $S = f(L, H)$ многофакторного влияния длины и падения притоков на изменение площади их водосбора по формуле

$$S = (a_1 + a_2 L^{a_3} \exp(-a_4 L^{a_5}) \exp(-a_6 H^{a_7}), \qquad (1)$$

где S - расчетная площадь водосбора притока реки, км^2, L - длина водотока, км, H - падение притока (водотока), м, $a_1 \ldots a_7$ - параметры статистической модели или

трендовой закономерности, значения которых зависят от конкретной группы притоков речной сети.

Здесь каждый член формулы (1) имеет содержательный смысл: первая компонента является биотехническим законом, предложенным нами [3], а вторая составляющая является устойчивым законом гибели (спада). Причем между факторами L и H наблюдается мультипликативная связь.

Отклонения измеренных значений площади водосбора притоков от расчетных значений, полученных после вычислений по вывяленным трендовым закономерностям типа (1), вычисляют по следующим формулам:

- абсолютные ошибки e

$$e = S' - S; \qquad (2)$$

- относительные ошибки Δ

$$\Delta = 100e / S', \qquad (3)$$

где e - абсолютная ошибка или остаток, то есть разница между измеренными и расчетными значениями площади водосбора, км^2, S' - измеренные (фактические, экспериментальные) значения площади водосбора, км^2, S - расчетные по найденной трендовой закономерности значения площади водосбора, км^2, Δ - относительная ошибка (погрешность), измеряемая в процентах.

Относительные ошибки отклонения измеренных значений площади водосбора от расчетных значений по найденным трендовым закономерностям принимаются большими, если они превышают ошибки измерения площади водосбора притоков. Ошибки измерения на картах зависят от масштаба топографических карт, а при натурных измерениях геодезическими приборами они малы (но резко возрастает трудоемкость и затраты на измерения). Для картографических измерений можно принять, что ошибки измерений не превышают 20 %. Тогда все относительные погрешности трендовой зависимости, превышающие 20 %, будут считаться большими. С использованием способов космического мониторинга точность измерений существенно возрастет, что приведет и к более точным статистическим закономерностям.

Сущность предлагаемого технического решения заключается в том, что давно известная эвристическая закономерность «чем длиннее река, тем больше в равнинных условиях ее площадь водосбора» [1, с..59] используется в запатентованном способе.

Поэтому значения длины и площади притоков отдельной речной системы должны распределяться по убыванию значений каждого из показателей. Интуитивно также понятно, что чем выше падение притока при неизменной длине, то тем меньше должна быть площадь водосбора. При этом площадь водосбора зависит также и от качества растительного покрова, так как растительность является активным регулятором круговорота воды на территории бассейна реки и отдельного её притока.

Положительный эффект достигается тем, что одновременно учитываются два геометрических фактора – длина притоков и падение этих же притоков. Причем вначале совокупность притоков реки разделяется на группы, в частности по наличию или отсутствию растительного покрова (в дальнейшем предполагается ввести более сложные биологические и ландшафтные классификации растительного покрова). Это позволяет существенно улучшить статистическую модель зависимости площади водосбора от влияния длины и падения притоков.

Новизна запатентованного технического решения заключается в том, что впервые эвристическая связь между значениями длины и площади измеренных притоков речной системы дополняется влиянием падения притоков. И эта связь преобразуется в двухфакторную закономер-

ность. При этом выявляется тренд влияния этих двух важнейших параметров водотоков, по группам бассейнов водотоков с примерно одинаковыми растительными условиями, и одновременно появляется возможность анализа влияния других отличительных особенностей ландшафта и техногенной нагрузки на речную сеть.

Результаты исследования и их обсуждение

Для статистического моделирования принята группа притоков, у которых на площади водосбора отсутствует растительный покров.

Для измерения площади водосбора принята речная сеть реки Буй по притокам первого и второго порядков по Р. Хортону. В табл. 1 приведены исходные данные по длине L (км) и площади S (км^2), а также по падению H (м) и уклону i (промили) водной поверхности притоков, полученные после уточняющих измерений натурными и картографическими способами (измерения проведены А.А. Ивановым) по речной сети реки Буй, расположенной в основном на территории Республики Марий Эл.

Известно, что уклон является производным показателем, зависящим от падения и длины водной поверхности реки, то есть известна зависимость $i = H / L$. Вычисления показали, что модели с учетом уклона реки имеют значительную по сравнению с падением погрешность, поэтому рассматривается первичный параметр – падение водотока.

Таблица 1.

Часть притоков реки Буй без растительного покрова

№ п/п	Наименование водотока	Порядок водотока	*(а) Данные о притоках* после измерений (А.А. Иванов)			
			Длина L, км	Площадь S, км^2	Падение H, м	Уклон i, $^0/_{00}$
1	1 л. пр в Помосъял	1	2,45	2,80	15,5	6,3
2	2 пр. пр из Елеево	1	3,50	7,80	34,0	9,7
3	3 л. пр. р. Корем из Егорково	1	6,50	23,60	15,2	2,3
6	6 л. пр. из Иштры	1	0,75	1,65	10,0	13,3
8	8 пр. пр. от трассы	1	1,00	4,47	13,3	13,3
13	11 л. пр. р. Касмер из Сюдумари	1	6,60	11,00	53,7	8,1
16	14 пр. пр. из Азянково	1	1,60	3,50	22,3	13,9
17	15 л. пр. из Арып Мурзы	1	3,60	12,40	24,0	6,6
20	1 пр. пр.17-го пр.	1	0,40	1,60	15,0	37,5
25	1 пр. пр.из Чагино	1	3,50	10,10	11,9	3,4
26	2 л. пр 21-го в Б. Гари	1	1,80	1,60	11,5	6,3
27	3 пр. пр. 21-го пр.	1	1,10	4,10	14,2	12,9
28	4 пр. пр.21-го пр.	1	0,60	2,20	7,0	11,6
31	1 л. пр. 6 пр. из кордона	1	1,50	1,80	12,0	8,0
34	7 пр. пр. из Козлоял	2	5,00	15,00	22,2	4,4
40	22 пр. пр. р. Буй	1	0,65	4,30	15,7	24,1
51	26 л. пр. р. Буй	1	1,80	2,10	40,9	22,7
60	5 л. пр. 29-го пр.	1	1,10	1,90	22,7	20,6
61	6 л. пр. 29-го пр.	1	0,95	2,40	24,3	22,5

После структурно-параметрической идентификации была получена двухфакторная модель вида (табл. 2)

$$S = (2,5039 + 0,16850 L^{4,76890} \exp(-0,62950 L) \times$$
$$\times \exp(-0,000015990 H^{2,70850}). \quad (4)$$

В этой статистической модели (4), являющейся трендовой закономерностью, то есть формулой, еще не завершенной по учету других факторов, параметры модели получили следующие значения:

$a_1 = 2,5039$ - доля площади водосбора, не зависящая от длины притока;

$a_2 = 0,16850$ - активность роста площади водосбора от длины притока;

$a_3 = 4,76890$ - интенсивность роста площади водосбора от длины притока;

$a_4 = 0,62950$ - активность гибели (спада) площади водосбора от длины притока;

$a_5 = 1$ - интенсивность гибели значений площади водосбора от длины притока;

$a_6 = 0,000015990$ - активность гибели площади водосбора от падения притока;

$a_7 = 2,70850$ - интенсивность гибели площади водосбора от падения притока.

Таблица 2.

Результаты выявления трендовой закономерности площади водосбора по части притоков реки Буй без растительного покрова

Длина L, км	Падение H, м	Площадь S, км^2	Расчетные значения по модели			Погрешность
			S, км^2	e, км^2	Δ, %	
2.45	15.5	2.80	4.96	-2.16	***-77.14***	высокая
3.50	34.0	7.80	7.84	-0.04	-0.51	
6.50	15.2	23.60	23.10	0.49	2.08	
0.75	10.0	1.65	2.51	-0.86	***-53.75***	средняя
1.00	13.3	4.47	2.55	1.92	***42.95***	средняя
6.60	53.7	11.00	11.01	-0.01	-0.09	
1.60	22.3	3.50	2.87	0.63	18.00	
3.60	24.0	12.40	9.49	2.91	***23.47***	малая
0.40	15.0	1.60	2.41	-0.84	***-52.50***	средняя
3.50	11.9	10.10	9.69	0.41	4.06	
1.80	11.5	1.60	3.36	-1.76	***-110.00***	высокая
1.10	14.2	4.10	2.58	1.52	***37.07***	средняя
0.60	7.0	2.20	2.51	-0.31	-14.09	
1.50	12.0	1.80	2.92	-1.12	-2.22	
5.00	22.2	15.00	16.86	-1.86	-12.40	
0.65	15.7	4.30	2.45	1.85	***43.02***	средняя
1.80	40.9	2.10	2.35	-0.25	-11.90	
1.10	22.7	1.90	2.45	-0.55	***-28.95***	малая
0.95	24.3	2.40	2.35	0.05	2.08	

Из данных табл. 2 видно, что из 19 притоков 10 соответствуют достаточно высокой точности моделирования, то есть адекватности измеренным значениям площади водосбора. Остальные 9 притоков, по-видимому, имеют отличительные особенности, от которых и зависит малая, средняя и высокая относительная погрешность. Для проверки этой гипотезы необходимо провести дополнительные измерения и исследования в натуре рельефа, почво-грунта и растительного покрова.

Таким образом, в приведенном примере вышеуказанную трендовую закономерность вполне можно принять за основу дальнейших исследований по уточнению влияния на площадь водосбора неучтенных орографических факторов. Тогда количество учтенных факторов увеличится и станет более трех переменных (группа по качеству растительности, длина притоков и падение притоков). По крайне мере, анализ значений абсолютной ошибки позволит учесть еще один или два дополнительных влияющих переменных.

Предлагаемый способ может быть применен к любой речной системе, то есть реке с притоками, расположенной как в равнинной, так и на холмистой территории (кроме горных рек). Но особенно она эф-

фективна применительно к средним и малым рекам, имеющим разветвленную сеть притоков первого и второго порядков, которые на территории Республики Марий Эл еще во многом сохранились в естественном виде. Этот способ эффективен также при использовании до проведения тщательных полевых исследований, так как позволяет заранее (до выполнения мониторинговых измерений) определить те или иные притоки, требующие тщательных полевых измерений параметров водосборного бассейна. Предлагаемый способ позволяет оценить также потребность в предполагаемых затратах на будущие исследования, спрогнозировать ожидаемую эффективность по водным ресурсам и рациональному природопользованию с учетом выявленных и уточненных на основе проведенных полевых измерений значений длины, падения и площади водосбора всех притоков речной сети.

Наибольший экологический, социальный и экономический эффекты от применения предложенного способа предполагается при использовании его в автоматизированных системах экологического и технологического мониторинга речных ландшафтов.

Статья опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Важнов А.Н. Гидрология рек. Учебник для студентов спец. «География». – М.: МГУ, 1976. – 339 с.

2. Пат. 2293290 Российская Федерация, МПК G 01 C 13/00 (2006.01). Способ измерения площади водосбора реки по длине и падению притоков / Мазуркин П.М., Иванов А.А., Михайлова С.И., Волкова Л.О. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. - №2005101055/28; заявл. 18.01.2005; опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.

3. Мазуркин, П.М. Статистическая гидрология: Учебное пособие / П.М. Мазуркин, В.И. Зверев, А.И. Толстухин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 274 с.

MONITORING OF THE RIVER ON LENGTH AND FALL OF INFLOWS

Mikhailova S.I., Mazurkin P.M., Ivanov A.A.
Mari state technical university
Yoshcar-Ola, Russia

Proposed technical solution to account for the influence of vegetation cover, the set of orographic factors of innovation activities and environmental arrangement to change the landscape of water catchment areas.

In multiple dimensions of river networks in time formed the statistical material for the monitoring of rivers and their tributaries as watersheds, that is tracking the dynamics of the formation of the river landscape.

Keywords: little river, options, environmental monitoring.