

УДК 556.522

## СТРУКТУРНО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЧНЫХ СИСТЕМ БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 16-05-00286 «Природные процессы в устьевых областях притоков и на прилегающем побережье оз. Байкал в условиях естественных и антропогенных изменений» и 17-29-05052 «Экзоморфолитогенез устьев Байкальских притоков на современном этапе гидроклиматического цикла: моделирование и прогноз»

© **Амосова Ирина Юрьевна**

инженер 1-й категории,  
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 1  
E-mail: irinaamosova\_83@mail.ru

© **Ильичева Елена Анатольевна**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник,  
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 1  
E-mail: lenail3663@mail.ru

Проведен структурно-гидрографический анализ речных систем бассейна озера Байкал. Информационной основой исследования являются данные среднесезонных расходов воды в створах стандартной сети наблюдений. Для исследуемой территории по топографическим картам среднего масштаба построена статическая модель речных систем (РС). Применение современных ГИС-технологий позволяет построить динамическую модель и провести анализ речных систем на уровне водно-эрозионной сети. Статическая модель представляет собой совокупность постоянно действующей речной сети. Такая модель построена для среднего многолетнего стока межливневой фазы водного режима. Динамическая модель соответствует фазе экстремальной водности при максимальном увлажнении. В динамической модели происходит увеличение количества элементарных водотоков за счет деятельности всех ложбин стока, обусловленное рельефом каждого конкретного бассейна. Для статической и динамической модели определен порядковый состав речных систем по классификации Хортон-Стралера и рассчитан коэффициент бифуркации. Для динамической модели определена целесообразность применения коэффициента бифуркации. По динамической модели проведена оценка количества устьев водотоков, непосредственно впадающих в оз. Байкал. Выполнен сравнительный анализ порядкового состава статической и динамической моделей, вследствие чего была выявлена роль разномасштабных топографических карт и цифровой модели рельефа для исследования речной или русловой сети в рамках структурной гидрографии.

**Ключевые слова:** озеро Байкал, речные системы, структурные характеристики, гидрографический анализ, русловая сеть, порядковый состав, водно-эрозионные элементы.

### Введение

Сложившееся в последнее время острое положение, связанное с водными ресурсами, отсутствие наблюдательной сети в верховьях бассейнов, создает необ-

ходимость привлечения структурно-гидрографического анализа для индикационной оценки речных систем.

Гидрологические и гидрографические характеристики речных бассейнов тесно связаны с рисунком речной сети. В свою очередь, рисунок речной сети показывает структуру водной системы, позволяет оценить условия формирования поверхностных вод и является первичным индикатором водоносности. В каждом отдельном суббассейне исследуемой территории и в бассейне в целом наблюдаются закономерности строения речных систем. Такая закономерность позволяет рассматривать речные или русловые системы на структурно-гидрографическом уровне.

На сегодняшний день методы структурной гидрографии совершенствуются, расширяя при этом области применения индикаторов.

Уникальность и важность такого озера как Байкал, требует разносторонних и комплексных исследований оценки водных ресурсов.

#### **Материалы и методы исследования**

Информационной основой исследования служат данные среднемноголетних расходов воды в створах стандартной сети наблюдений. В качестве топографического материала использовались карты 1:500 000 и 1:200 000 масштабов, ставшие основой для построения статической модели. Статическая модель представляет собой совокупность постоянно действующей речной сети и соответствует среднему многолетнему стоку меженной фазы водного режима.

По материалам снимков SRTM создано ЦМР — покрытие и построена динамическая модель речных систем при экстремальном увлажнении в масштабе 1:200 000, что позволило провести структурно-гидрографический анализ на уровне водно-эрозионной сети и сравнить результаты со статической моделью.

Динамическая модель соответствует фазе экстремальной водности при максимальном увлажнении. Чаще всего, в динамической модели происходит увеличение количества элементарных водотоков за счет деятельности всех ложбин стока, обусловленное рельефом каждого конкретного бассейна.

Ведущим показателем строения речных систем является ее рисунок, количественно это можно выразить через порядок речной и русловой сети. Состав водно-эрозионных элементов определялся по классификации Хортон-Стралера [1], в которой река на всем своем протяжении разбивается на отрезки, соответствующим порядком от точки слияния того же или более высокого порядка до следующего такого же узла, порядок в замыкающем створе распространяется на всю систему.

На данном этапе исследования значимым параметром выступает коэффициент бифуркации, устанавливающий соотношения количества элементов речной сети смежных порядков и определяется отношением числа систем данного порядка к числу систем следующего, более высокого порядка.

#### **Результаты**

**Статическая модель.** Для определения состава речной сети по статической модели в бассейне рассмотрено 28 створов (табл.1), имеющие гидрологические наблюдения.

Речная сеть исследуемой территории в основном представлена реками 3–5 порядков. Речные системы оз. Байкал по устойчивому стоку классифицируются:

II порядка — 1 река, III порядка — 6 рек, IV — 10, V порядка — 8, VII — 3 (рр. Баргузин, Верхняя Ангара, Селенга). При расчетах коэффициента бифуркации речных систем, находящихся в различных гидрологических условиях, выявилось, что его значения по РС представлены интервалом от 2,0 до 6,0 и в среднем составляет 3,9. Такое соотношение объясняется сходством условий формирования стока.

Таблица 1  
 Классификация речной сети бассейна оз. Байкал для статической модели

Река — створ	F, км <sup>2</sup>	Порядок по			δ <sub>0</sub>
		Шриву (магнитуда)	Шайдеггеру	Хоргону-Стралеру	
Давше — пос. Давше	93,7	7	3,807	2	3,5
Шаманка — гмп. Шаманка	189	33	6,044	3	5,9
Переменная — ст. Танхой	357	16	5,000	3	4,1
Мысовка — г. Бабушкин	147	4	3,000	3	2,0
Бол. Речка — ст. Посольская	565	29	5,858	3	5,4
Нестериха — Нестериха	177	14	4,807	3	3,8
Большая — с. Покровское	193	7	3,807	3	3,1
Рель — с. Байкальское	567	28	5,807	4	3,2
Холодная — д. Холодная	1 050	123	7,943	4	5,0
Утулик — ст. Утулик	959	28	5,807	4	3,2
Мишиха — ст. Мишиха	868	32	6,000	4	3,4
Мантуриха — блокпост Мантуриха	558	32	6,000	4	3,3
Безымянная — ст. Мангутай	204	29	5,858	4	3,2
Гоуджекит — д.Гоуджекит.	297	30	5,907	4	3,1
Анга — пос. Еланцы	711	35	6,129	4	3,6
Сарма — д. Сарма	768	83	7,375	4	4,5
Максимиха — с. Максимиха.	444	34	6,087	4	3,4
Тья — д. Тья	2 580	275	9,103	5	4,1
Кика — с. Хаим	1 740	147	8,200	5	3,6
Снежная — ст. Выдрино	3 000	434	9,762	5	4,6
Томпуда — гмс.Томпа	1 810	284	9,150	5	4,2
Турка — с. Соболиха	5 050	541	10,079	5	5,0
Хара-Мурин — ст. Мурино	1 130	152	8,248	5	3,5
Голоустная — пос. Бол.Голоустное	2 260	288	9,170	5	4,2
Бугульдейка — Б. Бугульдейка.	1 700	139	8,119	5	3,7
Верх.Ангара — д. Верх. Заимка	20 600	1923	11,909	7	3,7
Баргузин — с. Баргузин	19 800	1611	11,654	7	3,6
Селенга — рзд. Мостовой (РФ)	440 000	7038	13,781	7	4,4

Примечание: F — площадь водосбора км<sup>2</sup>, [3]; δ<sub>0</sub> — коэффициент бифуркации

**Динамическая модель.** По динамической модели проведена оценка количества устьев водотоков, непосредственно впадающих в оз. Байкал (рис. 1).

Их количество составляет 460. Из них постоянных водотоков насчитывается 230 (по топографическим картам масштаба 1:200 000). Временные водотоки со-

ставляют 30% от общего количества, около 20% пади и распадки с эпизодическим стоком максимального и экстремального увлажнения.

Бассейн озера насчитывает более 140 тыс. водно-эрозионных элементов I порядка постоянно действующих рек. Водосборная площадь бассейна составляет 572 280 км<sup>2</sup>. Средняя высота водосбора оз. Байкал 882 м, максимальная — 3 539 м (бассейн р. Селенги, суббассейн р. Идэр). Суммарная длина водно-эрозионной сети составляет 414 506 км, при средней длине элементарных водно-эрозионных элементов около 3 км. При экстремальном увлажнении такие водотоки могут сочетать в себе функции формирования стока и его мгновенного транзита.

При рассмотрении речных систем исследуемой территории по порядкам и занимаемой площади этими порядками (частные водосборы) от общей площади водосбора и суммарной длины водно-эрозионной системы рек использовалась классификация речных систем по их величине [2], распределение выглядит следующим образом. Очень малые реки, с площадью водосбора до 200 км<sup>2</sup> (I–III порядок), занимают значительные площади — более 80%. Малые реки (200–2 000 км<sup>2</sup>, IV–V порядок) составляют 14%, средние (2–20 тыс. км<sup>2</sup>, VI порядок) — 3%. Реки Верхняя Ангара и Баргузин относятся к классу больших, занимая при этом всего 0,8% от общей площади. И только одна река относится к классу крупнейших — это р. Селенга (0,2%). Несмотря на то, что р. Верхняя Ангара имеет VIII порядок, она отнесена к классу больших, т. к. имеет площадь водосбора менее 200 км<sup>2</sup> и длину главной реки менее 1000 км.



Рис. 1. Речные системы в бассейне озера Байкал

На суббассейн р. Селенги приходится 96% суммарной длины водно-эрозионной сети, 2,5% — рр. Верхняя Ангара и Баргузин и 1,5% приходится на очень малые, малые и средние реки.

Средний уклон водосборной площади 13,9°. Максимальные уклоны наблюдаются на западном побережье от р. Зундук до р. Тья, на южном побережье озера участок максимальных уклонов приурочен к рекам, берущим начало с хр. Хамар-Дабан (от р. Мантуриха до р. Слюдянка). На восточном побережье водо-

сборные бассейны рек, истоки которых находятся на западном склоне Баргузинского хребта (от р. Одороченка до р. Бол. Черемшана) повсеместно имеют большие уклоны, достигая в истоках  $50^\circ$  и более. Также, часть бассейна между Баргузинской и Байкальской впадинами, отличается повышенными уклонами.

Минимальные уклоны наблюдаются повсеместно в бассейнах рр. Верхняя Ангара, Баргузин и правобережных устьевых притоках р. Селенги.

Средний уклон водной поверхности притоков —  $6,35^\circ$ , большим уклоном обладают в основном реки западного побережья ( $10\text{--}16^\circ$ ), представленные I–III порядком, а также реки Мантуриха (IV порядок) на южном побережье и Малая Сухая (V порядок) представитель восточного побережья.

Речные системы бассейна оз. Байкал по составу водно-эрозионных элементов представлены: I порядка — 12 рек, II порядка — 79 рек, III порядка — 76 рек, IV — 36, V порядка — 20, VI — 4 реки (рр. Бугульдейка, Тья, Кичера, Турка) (табл. 2), VII — р. Баргузин, VIII — р. Верхняя Ангара и IX — р. Селенга.

Таблица 2

Порядковый состав водно-эрозионных элементов динамической модели речных систем западного побережья оз. Байкал

Речная система	Количество притоков					
	I	II	III	IV	V	VI
р. Голоустная	593	133	30	9	1	
р. Бугульдейк	433	96	22	4	2	1
р. Анга	342	66	17	5	1	
р. Сарма	216	46	12	2	1	
р. Хорга	8	2	1			
р. Курма	15	4	1			
р. Кучулга	63	13	4	1		

Коэффициент бифуркации при экстремальном увлажнении (табл. 3) изменяется от 3,0 до 5,2, в среднем составляет 4,1. При рассмотрении русловой сети наблюдается уменьшение диапазона значений коэффициента, по сравнению со статической моделью, что указывает на целесообразность применения данного параметра для детального исследования водно-эрозионной сети и ее районирование.

Таблица 3

Коэффициенты бифуркации некоторых речных систем западного побережья оз. Байкал при экстремальном увлажнении (динамическая модель)

Речная система	Коэффициент бифуркации					Среднее по РС
	I–II	II–III	III–IV	IV–V	V–VI	
р. Голоустная	4,5	4,4	3,3	9,0		5,3
р. Бугульдейка	4,5	4,4	5,5	2,0	2,0	3,7
р. Анга	5,2	3,9	3,4	5,0		4,4
р. Сарма	4,7	3,8	6,0	2,0		4,1
р. Хорга	4,0	2,0				3,0
р. Курма	3,8	4,0				3,9
р. Кучулга	4,8	3,3	4,0			4,0
Среднее по порядкам	4,5	3,7	4,4	4,5	2,0	

Коэффициент бифуркации для русловой сети показал большую стабильность, указывая на однородность природных условий для речных систем западного побережья.

Следует отметить существенные различия полученных параметров при сравнении статической и динамической моделей (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение порядкового состава (по классификации Хортон-Стралера) некоторых речных систем бассейна оз. Байкал

Речная система (РС)	Статическая модель		Порядок РС по ЦМР (динамическая модель)
	Порядок РС по картам масштаба 1:500000	Порядок РС по картам масштаба 1:200000	
Утулик	4	4	5
Хара-мури	4	5	5
Снежная	3	5	5
Кика	5	5	5
Турка	5	5	6
Тья	5	5	6
Бугульдейка	5	5	6
Баргузин	6	7	7
Верхняя Ангара	6	7	8
Селенга	7	8	9

Порядок речных систем в динамической модели увеличивается на 1–2 разряда. Порядок не меняется в случаях сильного расчленения бассейна (рр. Хара-Мурин, Снежная, Кика) или множества фуркаций гидрографической сети при максимальном увлажнении. В таком случае, русловая сеть динамической модели при максимальном увлажнении идентична речной сети статической модели для устойчивого стока.

#### Заключение

Представленный структурно-гидрографический анализ является первоначальным этапом комплексного и детального исследования речных систем. Рисунок речной и русловой сети является первичным индикатором водоносности речной системы в целом.

Для водосборного бассейна оз. Байкал по топографическим картам и цифровой модели рельефа построены статическая и динамическая модели состава гидросети соответственно.

Речная сеть статической модели представлена в основном реками 3–5 порядков. Наивысший порядок (VII) имеют 3 речные системы — Баргузин, Верхняя Ангара и Селенга). Коэффициент бифуркации показал сходство условий стокообразования, а при расчетах по динамической модели значения этого параметра указывает на целесообразность его применения для детального исследования водно-эрозионной сети и ее районирования.

По динамической модели проведена оценка количества устьев водотоков, непосредственно впадающих в оз. Байкал. Их количество составляет 460. Из них

постоянных водотоков насчитывается 230. Речные системы по составу водно-эрозионных элементов в основном представлены реками II–IV порядка.

Бассейн озера насчитывает более 140 тыс. водно-эрозионных элементов I порядка постоянно действующих рек, что говорит о наличии благоприятных условий формирования стока.

Суммарная длина русловой сети составляет 414 506 км, при средней длине элементарных водно-эрозионных элементов около 3 км. При экстремальном увлажнении такие водотоки могут сочетать в себе функции формирования стока и его мгновенного транзита.

При рассмотрении частных водосборов, очень малые реки занимают значительные площади — более 80%. Малые реки составляют 14%, средние — 3%. Большие и крупнейшие (р. Селенга) составляют 1%.

Выполнен сравнительный анализ порядкового состава статической и динамической моделей, вследствие чего была выявлена роль разномасштабных топографических карт и цифровой модели рельефа для исследования речной или русловой сети в рамках структурной гидрографии.

#### Литература

1. Корытный Л. М. Морфометрические характеристики речного бассейна // География и природные ресурсы. 1984. № 3. С. 105–112.
2. Корытный Л. М. Классификация речных систем Сибири по их величине // География и природные ресурсы. 1985. № 4. С. 32–36.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16, вып. 3. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 400 с.

#### STRUCTURAL AND HYDROGRAPHIC ANALYSIS OF RIVER SYSTEMS IN THE BASIN OF BAIKAL LAKE

*Irina Yu. Amosova*

engineer of 1 category, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk 664033, Russia  
E-mail: irinaamosova\_83@mail.ru

*Elena A. Ilicheva*

Candidate of Sciences (Geography), Senior Researcher,  
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia  
E-mail: lenail3663@mail.ru

A structural and hydrographic analysis of the river systems of the Lake Baikal basin has been carried out. The information basis of the study is the data of average annual water discharge in the sections of the standard observation network. A static model of river systems (RS) is constructed using medium-scale topographic maps for the study area. The use of modern GIS-technologies allows to build a dynamic model and to carry out analysis of river systems at the level of the water-erosion network. A static model is an aggregate a constantly functioning river network. This model is constructed for the average long-term runoff of the low-water phase of the water regime. The dynamic model corresponds to the phase of extreme runoff at maximum moistening. In the dynamic model, there is an increase in the number of elementary watercourses due to the activity of all drainage gullies, caused to the relief of each particular basin. The order of the river systems according to the Horton-Strahler classification was determined and the bifurcation coefficient was calculated for the

static and dynamic model. The feasibility of applying the bifurcation coefficient is determined for the dynamic model. The number of mouths of watercourses, which flowing into Lake Baikal is estimated of the dynamic model. A comparative analysis of the order rivers of the static and dynamic models was performed, as a result of which the importance of different-scale topographic maps and a digital terrain model for investigating the river or channel network within the framework of structural hydrography was identified.

*Keywords:* Baikal Lake, river systems, structural characteristics, hydrographic analysis, channel network, order composition, water and erosion elements.

*References*

1. Korytnyj L.M. Morfometricheskie harakteristiki rechnogo bassejna // *Geografija i prirodnye resursy*. 1984. № 3. S. 105–112.
2. Korytnyj L.M. Klassifikacija rechnyh sistem Sibiri po ih velichine // *Geografija i prirodnye resursy*. 1985. № 4. S. 32–36.
3. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR*. T. 16, vyp. 3. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 400 s.