

Е.А. ИЛЬЧЕВА\*, М.В. ПАВЛОВ\*, И.Ю. АМОСОВА\*<sup>\*\*</sup>, А.А. УШКАЛОВ\*

\*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, lenail3663@mail.ru, maksimpavlov\_v@mail.ru,  
irinaamosova\_83@mail.ru, lolitamen@mail.ru

\*\*Иркутский государственный университет,  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1, Россия, irinaamosova\_83@mail.ru

## СТРУКТУРА РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ КАК ИНДИКАТОР ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГИ И ЕЕ ДЕЛЬТЫ)

Проведен сравнительный морфометрический анализ параметров структуры русловых систем основных притоков р. Селенги и дельты, развивающихся в различных орографических условиях: высокогорий, среднегорья и устьевой равнины. В основе исследований лежит структурно-гидрографический и бассейновый подходы, разработанные отечественными и зарубежными исследователями, с применением материалов космической высотной модели Земли и при помощи инструментов геоинформационного картографирования. Создана база структурно-гидрографических и морфометрических данных и расчетных величин стока. Исследования в основном имеют фундаментальное значение, направленное на выявление взаимосвязанных элементов строения речных систем и условий их образования и развития, выраженных в орографических и морфоструктурных особенностях бассейна. Прикладной аспект проведенных расчетов заключается в оценке среднемноголетнего и прогнозного потенциально возможного стока в рамках недостаточной обеспеченности и продолжительности наблюдений на неравномерно размещенных створах стандартной сети наблюдений в трансграничной территории России и Монголии. Разработанная модель расчета максимально возможного стока может быть полезна для рекомендаций по рациональному и безопасному планированию использования земель бассейна, а также для предупреждения возникновения природных рисков. Цель исследований заключается в выявлении и сравнении структурных, морфологических и природных индикаторов стока в различных высотных поясах в пределах всего бассейна Селенги и в отдельных его частях. Приводится зонирование бассейна по областям стокоформирования в привязке к разработанным ранее природным районированиям территории, их гипсометрическому положению и морфоструктурным элементам строения. Представлена прогнозная модель для расчета стока неизученных рек.

**Ключевые слова:** водосборный бассейн, орография, цифровая модель высот, водно-эрэзионные системы, сток, геоморфологические пояса.

Е.А. ILYICHEVA\*, М.В. PAVLOV\*, I.Yu. AMOSOVA\*<sup>\*\*</sup>, А.А. USHKALOV\*

\*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, lenail3663@mail.ru, maksimpavlov\_v@mail.ru, irinaamosova\_83@mail.ru, lolitamen@mail.ru

\*\*Irkutsk State University, 664003, Irkutsk, ul. K. Marxa, 1, Russia, irinaamosova\_83@mail.ru

## STRUCTURE OF THE RIVER SYSTEM AS AN INDICATOR OF THE WATER CAPACITY FORMATION (A CASE STUDY OF THE SELENGA RIVER BASIN AND ITS DELTA)

A comparative morphometric analysis of the structure parameters of the channel systems of the main tributaries of the Selenga River and its delta developing in different orographic conditions, namely: highlands, midlands and estuarine plain, was carried out. The research is based on the structural-hydrographic and basin approaches developed by domestic and foreign researchers, using materials from the space altitude model of the Earth and with the help of geoinformation mapping tools. A database of structural-hydrographic and morphometric data and estimated runoff values has been created. The studies are mainly of fundamental importance, aimed at identifying interrelated elements of the structure of river systems and conditions of their formation and development, expressed in orographic and morphostructural features of the basin. The applied aspect of the calculations consists in the assessment of average annual and forecasted potential runoff within the framework of insufficient availability and duration of observations at unevenly placed sites of the standard observation network in the transboundary territory of Russia and Mongolia. The developed model for calculating the maximum possible runoff may be useful for recommendations on rational and safe land use planning in the basin, as well as for preventing natural risks. The purpose of the research is to identify and compare structural, morphological and natural indicators of runoff in different altitudinal belts within the Selenga

*basin and in its individual parts. Zoning of the basin by runoff-forming areas is presented in relation to the previously developed natural zoning of the territory, their hypsometric position and morphostructural elements of the structure. A forecast model for calculating the runoff of unstudied rivers is presented.*

**Keywords:** watershed, orography, digital elevation model, water-erosion systems, runoff, geomorphological zonation.

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования речных систем (РС) для оценки их водоносности опираются на индикационные параметры, такие как порядок, рисунок, структурно-гидрографические, энтропийные характеристики и морфометрию, имеющие закономерности или отличия, проявляющиеся в различных орографических поясах. Бассейн р. Селенги располагается в частях Саянской, Прибайкальской и Забайкальской областей гор Южной Сибири, согласно физико-географическому районированию СССР [1]. Притоки верхнего и среднего течения Селенги дренируют орографические элементы и природные области, находящиеся на территории Монголии, но имеющие общие морфоструктурное и геолого-тектоническое строение с выделяемыми областями и провинциями на российской части бассейна. Южная часть водораздела селенгинского бассейна входит в общий водораздел между реками бассейнов Северного Ледовитого и Тихого океанов и бессточных областей Центральной Азии (реки Енисей, Лена, Амур, котловины Больших озер) [1].

Речная сеть, как результат длительного физико-географического процесса, отражает унаследованные черты геолого-тектонической истории региона, выраженной в морфоструктурном каркасе и морфоскульптурном облике водосборных бассейнов. Ее рисунок обусловлен условиями взаимодействия текучих вод с подстилающими породами, а также развитием гидрографической сети в связи с палеоклиматическими событиями. Речную сеть представляют в виде ориентированного «графа-ордерева», объединяющего элементы сети в системы. Выделяются разноуровневые открытые и внутренние системы, которые отличаются между собой функциональным значением: внешние системы осуществляют дренаж и транзит стока, а внутренние обеспечивают транзит стока, поступающего из гипсометрически вышерасположенных внешних систем. В замыкающем звене сложной системы происходит аккумулирование и распределение стока всего бассейна.

Таким образом, главнейшими предпосылками развития особенностей строения РС могут служить геоморфологические пояса, по которым распределены основные типы рельефа в соответствии с гипсометрическим положением. Выделение геоморфологических поясов и природных зон рассматриваемого бассейна выполнено ранее в фундаментальных работах по геоморфологии [2], природным и социально-экономическим районированиям, а также дано в картографических произведениях по результатам эколого-географических исследований [3, 4].

В данном исследовании поставлена цель научно обосновать особенности строения РС в высокогорьях, среднегорьях и нагорьях, а также в замыкающем звене всей Селенги в пределах устьевой равнины и определить структурно-гидрографические и морфологические индикаторы формирования стока.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект исследования представляет собой речную системы р. Селенги, дренирующую различные орографические пояса бассейна, и рассматривается на примере суббассейнов рек Эгийн, Джиды, Чикоя, Хилка и устьевой области (рис. 1). В работе [5] на основе структурно-гидрографического подхода проведено выделение областей формирования, транзита и аккумуляции стока в бассейне оз. Байкал, границы которых обозначены в пределах исследуемых водосборов и будут использованы в обсуждении результатов.

**Морфометрические параметры РС.** На основе данных цифровой модели высот (ЦМВ) и инструментов программного картографирования проведен морфометрический сравнительный анализ РС притоков р. Селенги, расположенных в различных орографических поясах. Для расчетов морфометрических коэффициентов получены: площадь водосбора ( $F$ , км<sup>2</sup>); средняя высота водосбора над уровнем моря ( $H_{ср}$ , м), максимальная ( $H_{макс}$ , м), соответствующая наивысшей точке водосбора, и минимальная ( $H_{мин}$ , м) — в точке базиса эрозии при впадении РС в более крупную систему или принимающий водоем; превышение или высота бассейна ( $\Delta H$ , м); густота речной сети, рассчитанная по топографической карте для каждого суббассейна ( $D_{РС}$ , км/км<sup>2</sup>); коэффициент водно-эрзационного расчленения, вычисленный по данным ЦМВ с учетом балок и тальвегов ( $D_{ВЭС}$ , км/км<sup>2</sup>); средний

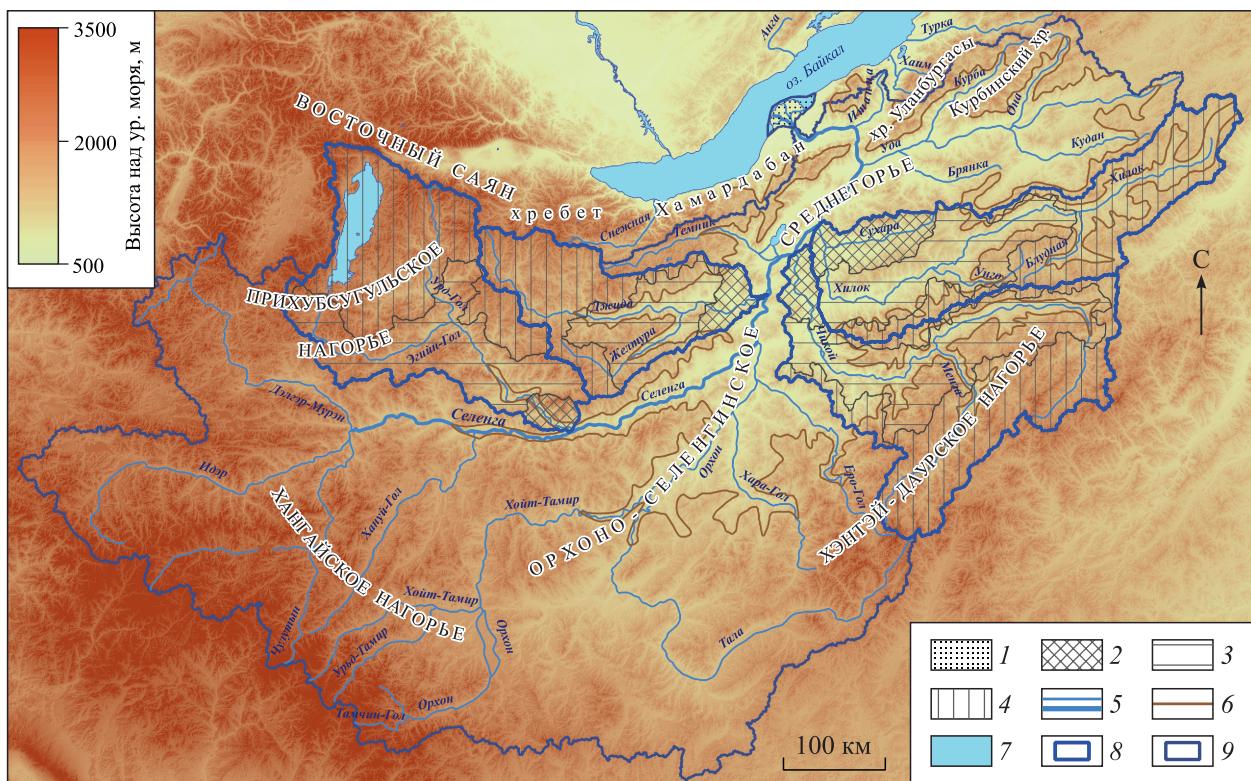


Рис. 1. Области стока исследуемых притоков и орографическое положение бассейна р. Селенги

Области стока: 1 — аккумуляции и распределения стока в устьевой системе р. Селенги, 2 — аккумуляции стока, 3 — трансформации стока, 4 — формирования стока. 5 — русловая сеть; 6 — горизонталь 1000 м над ур. моря; 7 — акватории крупных озер. Границы: 8 — исследуемых суббассейнов; 9 — водосборного бассейна р. Селенги.

уклон водосбора ( $I, {}^\circ$ ); средний уклон РС ( $I_{PC}, {}^\circ$ ); длина главной реки ( $L, \text{ км}$ ). Далее определялись расчетные морфометрические коэффициенты.

Форм-фактор показывает вытянутость бассейна и характеризует условия прохождения стока и задержки поверхностных вод в бассейне. Чем выше значения форм-фактора, тем быстрее проходят пики паводков. Коэффициент форм-фактора рассчитывается как отношение площади бассейна ( $F$ ) к квадрату его длины ( $L_b$ ) [6–8].

Гипсометрический интеграл (НІ) описывает состояние развития водосбора и отражает стадии эрозионного цикла развития бассейна на фоне различной интенсивности неотектонических движений [6, 9].

Коэффициент вытянутости бассейна ( $R_e$ ) [8] представляет собой отношение диаметра круга той же площади, что и бассейн, к максимальной длине бассейна ( $L_b$ ). Значение  $R_e$ , близкое к единице, указывает на низкогорный рельеф, в то время как значение  $R_e$  в диапазоне от 0,4 до 0,8 показывает области высокогорного рельефа с крутыми склонами [10].

Длина поверхностного стока ( $L_o$ ) используется для описания длины потока по поверхности до того, как он сберется в русло, и выражается как половина величины, обратной густоте речной сети [11], представляя собой порог между склоновым и русловым стоком [7]. Подобный коэффициент использовал С.А. Шумм [8] для оценки длины потока, формирующего русло, или как «постоянную сохранения русла» ( $C$ ), и выразил этот параметр как обратную величину густоты речной сети. Значение постоянной  $C$  зависит от водно-физических свойств подстилающей поверхности, климатического режима, типа ландшафта, продолжительности эрозии в климатической истории.

**Структурные параметры РС.** Количественная оценка топологического пространства графа выражается через мощность (мagnитуду) или через насыщенность (количество) элементами первого порядка по Р. Шриву [12]. Соподчиненность, упорядоченность, иерархичность графа описывается структурной мерой или энтропией ( $\Sigma M_{\text{энт}}$ ) с точностью до изоморфизма. Энтропия вычисляется для каждой внутренней вершины графа по формуле К. Шеннона [13]. Для расчетов суммарной энтропии

используется алгоритм, предназначенный для поэтапного расчета топологических характеристик речных систем со сложной структурой, адаптированный для работы на ЭВМ [14, 15] и для современных ПК с операционной системой ХР (Б.И. Гарцман, программа «Энтропия» [13]).

Высокая теснота связи отношения суммарной энтропии  $\Sigma M_{\text{энт}}$  и средней водоносности  $Q_{\text{ср}}$  используется в качестве расчетной, о чем свидетельствуют работы, проведенные для горных районов Алтая, Саян, Кузнецкого Алатау, Дальнего Востока [13, 15, 16], для ряда районов Западно-Сибирской равнины [17] и речных систем юга Восточной Сибири [18]. Отношение стока к суммарной энтропии представляет собой структурный модуль ( $M_{\text{ср}}$ ). В качестве исходной гидрологической информации использовались результаты стандартных регулярных гидрометрических наблюдений по 71 гидропосту Росгидромета, имеющими ряд наблюдений 30 и более лет.

Энтропия с увеличением порядка речных систем возрастает эквивалентно нарастанию средней водоносности, суммарных длин, площадей бассейнов и др., что позволяет использовать структурные меры в качестве индикационных параметров. Расчет суммарной энтропии проведен по статической и динамической моделям [5].

Рассмотрен коэффициент бифуркации ( $\delta_0$ ), показывающий кратность количества рек смежных порядков, его среднее значение характеризует мощность и разветвленность речной сети.

Гидроморфологический коэффициент ( $\gamma$ , км  $\text{с}/\text{м}^3$ ) показывает, какая длина реки обеспечивает расход воды в 1  $\text{м}^3/\text{с}$ , и представляет собой отношение суммарной длины РС к стоку в замыкающем створе. Кроме того, этот показатель косвенно указывает на стадию развития РС, и его максимальные значения приурочены к областям тектонических опусканий, а минимальные — к морфоструктурам с наиболее интенсивными поднятиями [19].

В качестве методов статистической обработки данных использовался парный коэффициент корреляции Пирсона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В масштабе физико-географических областей (групп провинций), выделенных по морфоструктурным и природно-зональным критериям [1–4], бассейн р. Селенги дренирует три группы провинций, занимающих разновысотные геоморфологические пояса, в пределах которых проявляются различия структурно-гидрографических характеристик на иерархических уровнях суббассейнов (рис. 1). Центральную часть бассейна занимает Орхено-Селенгинское среднегорье, в пределах которого РС Селенги набирает IX порядок по Хортону–Стралеру из основных притоков VII и VIII порядков. Хангайское и Хэнтэй-Даурское нагорья и Витимское плоскогорье формируют юго-восточную и северные границы водосбора и верховья крупных правобережных притоков. Отроги хребтов Хамар-Дабан и Восточного Саяна, включая Прихубсугульское нагорье, образуют высокогорную группу провинций на севере и северо-западе бассейна, здесь формируются РС VII порядка. При сравнении орографического положения бассейнов притоков Селенги и структурно-гидрографических индикаторов стокоформирования выявлены закономерности, позволяющие на основе отношения среднемноголетних расходов ( $Q_{\text{ср}}$ ) к рассчитанной структурной мере ( $M_{\text{энт}}$ ) районировать суббассейны по трем основным и одной переходной линейной зависимостям.

Наибольшие значения структурного модуля ( $M_{\text{ср}} > 0,45$ ) характерны для бассейнов рек в высокогорьях Восточного Саяна и хр. Хамар-Дабан. РС имеют сравнительно небольшие бассейны с крутыми бортами и большими уклонами рек, средние значения водно-эрзационного расчленения ( $0,57 \text{ км}/\text{км}^2$ ), суммарную протяженность речных систем (до 10 тыс. км) и магнитуду (около 6 тыс.), и наименьшее для всего бассейна значение гидроморфологического коэффициента 166  $\text{км с}/\text{м}^3$ , что согласуется с максимальными амплитудами нетектонических поднятий и отражено в морфометрии бассейнов.

Для нагорий и плоскогорий выделяются две группы со структурным модулем в пределах 0,35–0,45  $\text{м}^3/(\text{с·бит})$  для высот 2500–3000 м и 0,25–0,34  $\text{м}^3/(\text{с·бит})$  — до 2000–2600 м. Коэффициент эрозионного расчленения в среднем составляет 0,62–0,66  $\text{км}/\text{км}^2$ . Суммарная протяженность речных систем до 76 тыс. км и магнитуда 26–36 тыс. элементов первого порядка, гидроморфологический коэффициент 247–273  $\text{км с}/\text{м}^3$ , что соответствует стадии зрелости.

Четвертая группа объединяет реки Орхено-Селенгинского среднегорья ( $M_{\text{ср}} = 0,01–0,24 \text{ м}^3/(\text{с·бит})$ ) с высотой водосборов 800–2000 м. Коэффициент эрозионного расчленения этой группы наибольший и достигает 0,80  $\text{км}/\text{км}^2$ . Нарастает и суммарная протяженность речных систем (более 100 тыс. км), и магнитуда до 70 тыс. элементов первого порядка. Максимальное значение гидроморфологического коэффициента в пределах 1000  $\text{км с}/\text{м}^3$ , что говорит о древности речных систем.

При рассмотрении строения РС в более детальном масштабе, на иерархических уровнях VII и V порядков, выявляется ряд морфометрических и структурно-гидрографических параметров (табл. 1), характеризующих сток с отдельных орографических поясов или физико-географических провинций. Речные системы для подробного анализа в рамках данной статьи выбраны произвольно. Большинство рассмотренных РС V порядка относятся к областям формирования стока, приурочены к высокогорному поясу Восточного Саяна, Хамар-Дабана и сильно расчлененным приводораздельным поверхностям Хэнтэй-Даурского нагорья и принадлежат бассейнам рек Эгийн, Джиды и Чикоя. РС бассейна оз. Хубсугул располагаются в пределах двух геоморфологических поясов и подпровинций: Западного высокогорного пояса с альпинотипным рельефом и подпровинции Восточного Прихубсугулья со слаженными водоразделами, характерными для всего Прихубсугульского и Хэнтэй-Даурского нагорий. Амплитуды высот бассейнов (1200 м) и уклоны (от 8 до 17°) максимальные для всей РС Селенги. Площади бассейнов среднем в высокогорьях до 600 км<sup>2</sup>, длина главной реки наименьшая — 45 км, формирование русловой сети начинается с протяженности тальвега в 0,2 км, конфигурация бассейна вытянутая, обеспечивающая более интенсивное стекание водных масс, V порядок собирается из наименьшего количества элементарных водотоков — от 115 до 250 в высокогорьях и нагорьях соответственно. Сложность структуры РС нарастает от высокогорных условий ( $\Sigma M_{\text{энт}} \geq 80$  бит) к расчлененным нагорьям ( $\Sigma M_{\text{энт}} = 150$  бит), структурный модуль уменьшается с высотой бассейна (от 0,36 до 0,21 м<sup>3</sup>/(с·бит)). Условия стекания воды обеспечивают наибольший модуль потенциально возможного стока, как для РС V, так и для РС VII порядков, в среднем 52–53 л/(с·км<sup>2</sup>). Стадийность эрозионного развития обусловлена неотектоническими процессами: в горах продольный профиль поверхности бассейнов выпуклый до профиля равновесия в нагорьях.

Области транзита стока занимают Орхено-Селенгинское среднегорье с речными системами уже VII порядка и впадают непосредственно в р. Селенгу, являющуюся местным базисом эрозии для этих притоков, где формируется область аккумуляции стока. В основных зонах аккумуляции стока приурочены к морфоструктурным элементам реликтов мезо-кайнозойских котловин, выраженных в рельефе пологими широкими долинами, занимающими наиболее низкие гипсометрические уровни. Русловые подсистемы V порядка располагаются на средних высотах около 1000 м. Уклоны РС варьируются около 6° за счет малых амплитуд и более протяженных главных рек, в отличие от высокогорных условий. Увеличивается водосборная площадь, длины бассейнов сокращаются, увеличивая время дебегания. Русла рек формируются при большей длине (в среднем 0,68 км), увеличивается количество элементарных входящих водотоков, что характеризует более сложную систему ( $\Sigma M_{\text{энт}} > 300$  бит) с меньшим средним структурным модулем (до 0,15 м<sup>3</sup>/(с·бит)). Модуль максимально возможного стока в РС среднегорья ниже высокогорий и составляет 22 л/(с·км<sup>2</sup>). Речные системы среднегорий имеют в основном равновесный профиль по гипсометрическому интегралу и находятся в стадии зрелости и древности в областях тектонических опусканий.

При статистическом и сравнительном анализе морфометрических и структурных параметров выявлено, что речные системы разных порядков не имеют тесных корреляционных связей ( $R^2 \leq 0,4$ ), как и РС различных орографических поясов. Тесные связи ( $R^2 = 0,9$ ) имеют параметры рек, расположенных в схожих геоморфологических условиях региона. Исключение составляют среднемноголетние расходы, которые, в свою очередь, зависят от климатических и экспозиционных особенностей и продолжительности инструментальных наблюдений, по сравнению с историей заложения и развития речных систем.

Замыкающее звено РС Селенги представляет собой область аккумуляции и перераспределения стока по устьевой системе проток и межрукавных пространств в ее дельте (см. рис. 1). В устьевой системе действуют особенные процессы рассредоточения стока, обусловленные, в первую очередь, уровенным фактором подпора со стороны вод Байкала, малыми (до 2°) уклонами русел, большими наблюдаемыми расходами воды ( $Q_{\text{ср}} = 918$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{макс}} = 7000$  м<sup>3</sup>/с) и наносов ( $R_{\text{ср}} = 60$  кг/с;  $R_{\text{макс}} = 200$  кг/с). Для оценки распределения стока в работе [20] мы представили график РС дельты по аналогии системы Хортон-Стралера. Как показано на рис. 2, основное русло в вершине дельты классифицируется как русло I порядка. Вниз по течению система разветвляется на два основных направления стока: Твороговское и Краснояровское; они классифицируются как русла II порядка, которые, в свою очередь, делятся в узлах бифуркации на четыре русла следующего порядка и т. д. Максимальный VIII порядок приобретает протока Лобановская. VII порядок имеют маловодные протоки, впадающие в зал. Провал, и в центральной части дельты. Основное русло и молодая протока Левобережная имеют V порядок. Формирование русел новых порядков происходит в периферийной части дельты при столкновении речных потоков с подпором байкальских вод, когда теряется энергия потока и осаждаются наносы, образуя приустьевой бар, делящий единое русло на два. В дель-

## Морфометрические и структурно-гидрографические параметры

| Речная система                      | Параметр | РС Селенги |        |        |        | РС Хилка |       |        |       | РС Чикоя |             |       |               | РС Джилы     |             |              |      | РС Хубсугула |  |  |  |
|-------------------------------------|----------|------------|--------|--------|--------|----------|-------|--------|-------|----------|-------------|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|------|--------------|--|--|--|
|                                     |          | Селенга    | Эгийн  | Джила  | Чикой  | Хилок    | Унго  | Малега | Буй   | Хила     | Мы-<br>кырт | Aca   | Хилко-<br>той | Пакир-<br>ка | Их-<br>Хоро | Алаг-<br>Пар | Ханх |              |  |  |  |
| $F$ , км <sup>2</sup>               | 458 649  | 42 328     | 23 703 | 44 972 | 38 433 | 2315     | 770   | 989    | 1237  | 461      | 2210        | 1147  | 1045          | 571          | 372         | 556          |      |              |  |  |  |
| $H_{ep}$ , м                        | 1199     | 1477       | 1135   | 1060   | 890    | 1021     | 914   | 967    | 1041  | 932      | 1166        | 1217  | 1546          | 2311         | 1758        | 1921         |      |              |  |  |  |
| $H_{max}$ , м                       | 3539     | 3438       | 2619   | 2652   | 1729   | 1593     | 1434  | 1523   | 1548  | 1282     | 2113        | 2004  | 2618          | 3330         | 2262        | 2972         |      |              |  |  |  |
| $H_{min}$ , м                       | 457      | 824        | 565    | 533    | 518    | 675      | 670   | 635    | 919   | 799      | 796         | 685   | 1172          | 1646         | 1646        | 1646         |      |              |  |  |  |
| $\Delta H$ , м                      | 3082     | 2614       | 2054   | 2119   | 1211   | 918      | 764   | 888    | 483   | 1317     | 1319        | 1446  | 1684          | 616          | 1326        | 1326         |      |              |  |  |  |
| $D_{pc}$ , км/км <sup>2</sup>       | —        | 0,58       | 0,36   | 0,51   | 0,47   | 0,48     | 0,57  | 0,54   | 0,3   | 0,43     | 0,51        | 0,53  | 0,41          | 0,58         | 0,39        | 0,5          |      |              |  |  |  |
| $D_{BEC}$ , км/км <sup>2</sup>      | 0,77     | 0,64       | 0,66   | 0,67   | 0,70   | 0,65     | 0,68  | 0,63   | 0,67  | 0,68     | 0,59        | 0,60  | 0,60          | 0,75         | 0,68        | 0,64         |      |              |  |  |  |
| $I_{base}$ , °                      | 7        | 5          | 5      | 6      | 3      | 5        | 6     | 5      | 2     | 4        | 7           | 7     | 7             | 15           | 7           | 6            |      |              |  |  |  |
| $I_{pc}$ , °                        | 2        | 3          | 2      | 1,5    | 0,8    | 2,8      | 6,5   | 5,6    | 4,9   | 6,6      | 8,8         | 8,4   | 8,1           | 16           | 11          | 17           |      |              |  |  |  |
| $L$ , км                            | 1453     | 535        | 567    | 769    | 840    | 189      | 67    | 91     | 73    | 42       | 85          | 90    | 102           | 59           | 32          | 43           |      |              |  |  |  |
| Форм-фактор                         | 0,10     | 0,14       | 0,15   | 0,14   | 0,14   | 0,20     | 0,24  | 0,23   | 0,21  | 0,25     | 0,20        | 0,22  | 0,22          | 0,25         | 0,26        | 0,25         |      |              |  |  |  |
| Фактор формы                        | 10,14    | 7,33       | 6,77   | 7,39   | 7,23   | 4,94     | 4,25  | 4,40   | 4,70  | 4,00     | 4,91        | 4,49  | 4,54          | 4,08         | 3,85        | 4,07         |      |              |  |  |  |
| $L_b$ , км                          | 2156     | 557        | 401    | 577    | 527    | 107      | 57    | 66     | 75    | 43       | 104         | 72    | 68            | 48           | 38          | 48           |      |              |  |  |  |
| HI                                  | 0,24     | 0,25       | 0,28   | 0,25   | 0,31   | 0,45     | 0,45  | 0,47   | 0,28  | 0,43     | 0,37        | 0,46  | 0,34          | 0,39         | 0,19        | 0,21         |      |              |  |  |  |
| Re                                  | 0,35     | 0,43       | 0,31   | 0,31   | 0,26   | 0,29     | 0,47  | 0,39   | 0,54  | 0,58     | 0,62        | 0,42  | 0,36          | 0,46         | 0,69        | 0,61         |      |              |  |  |  |
| $L_o$ РС, км                        | —        | 0,76       | 0,6    | 0,71   | 0,69   | 0,69     | 0,75  | 0,74   | 0,55  | 0,66     | 0,71        | 0,73  | 0,64          | 0,29         | 0,20        | 0,25         |      |              |  |  |  |
| $L_o$ ВЭС, км                       | 0,88     | 0,8        | 0,81   | 0,82   | 0,84   | 1,25     | 0,76  | 0,82   | 0,87  | 0,61     | 1,10        | 0,70  | 0,93          | 0,40         | 0,35        | 0,35         |      |              |  |  |  |
| С РС, км                            | —        | 1,72       | 2,78   | 1,96   | 2,13   | 2,08     | 1,76  | 1,85   | 3,34  | 2,68     | 1,96        | 2,00  | 2,41          | 1,72         | 2,56        | 2,00         |      |              |  |  |  |
| С ВЭС, км                           | 1,30     | 1,56       | 1,52   | 1,49   | 1,43   | 1,54     | 1,73  | 1,50   | 1,31  | 2,32     | 0,83        | 1,90  | 1,16          | 1,25         | 1,43        | 1,43         |      |              |  |  |  |
| $\gamma$ , км·с/м <sup>3</sup>      | 397      | 188        | 247    | 116    | 266    | 130      | 176   | 133    | 376   | 447      | 65          | 66    | 106           | 91           | 299         | 226          |      |              |  |  |  |
| $\delta_0$                          | —        | 4,6        | 4,3    | 4,8    | 4,7    | 4,9      | 4,0   | 4,3    | 4,6   | 3,7      | 4,9         | 4,2   | 4,5           | 4,7          | 4,2         | 3,8          |      |              |  |  |  |
| Порядок РС                          | 9        | 7          | 7      | 7      | 5      | 5        | 5     | 5      | 5     | 5        | 5           | 5     | 5             | 5            | 5           | 5            |      |              |  |  |  |
| Магнитуда                           | 117 836  | 9554       | 5686   | 11436  | 9672   | 549      | 188   | 234    | 446   | 107      | 536         | 237   | 233           | 195          | 115         | 168          |      |              |  |  |  |
| $Q_{ep}$ , м <sup>3</sup> /с        | 886      | 100        | 63,8   | 261    | 101    | 11,6     | 2,96  | 4,7    | 2,2   | 0,7      | 19,9        | 10,4  | 5,92          | 4,66         | 0,85        | 1,58         |      |              |  |  |  |
| $Q_{max}$ набл, м <sup>3</sup> /с*  | 7620     | 2740       | 3690   | 4760   | 1240   | 496      | 89,5  | 104    | 77,2  | 590      | 496         | 311,6 | 151,5         | 394          | 12,3        | 5,4          | 7,3  |              |  |  |  |
| $\sum_{\text{мэнт}}$ ВЭС, бит       | 71 862,2 | 5763,6     | 3567,1 | 7237,8 | 6085,5 | 330,9    | 107,2 | 140,5  | 222,9 | 67,6     | 151,5       | 146,5 | 124,1         | 80,3         | 108,5       |              |      |              |  |  |  |
| $M_{cp}$ РС, ³/(с·бит)              | 0,2      | 0,28       | 0,45   | 0,30   | 0,13   | 0,21     | 0,13  | 0,21   | 0,12  | 0,08     | 0,31        | 0,43  | 1,20          | 0,10         | 0,07        | 0,07         |      |              |  |  |  |
| $q_{max}$ ВЭС,/(с·км <sup>2</sup> ) | 31,3     | 38,1       | 67,7   | 48,3   | 20,6   | 30       | 18,1  | 29,8   | 21,6  | 43,7     | 56,8        | 11,7  | 168           | 21,59        | 14,5        | 13,1         |      |              |  |  |  |

Примечание. Прочерк — нет данных.



Рис. 2. Геоморфологическое строение дельты р. Селенги и порядки русловой сети.

Порядки русловой сети: 1–8. Террасовое обрамление долины р. Селенги: 9 — голоценовая Кабанская пойма и средне-позднеплейстоценовые озерно-аллювиальные террасы на Кударинской тектонической ступени. Современный пойменно-террасовый комплекс: 10 — образованный 1–4 тыс. лет назад; 11 — сформированный в последнее тысячелетие; 12 — озерный край дельты и формирующиеся поймы. 13 — авандельта и крупные тектонические лиманы; 14 — морские бары и приустьевые косы. Береговая линия: 15 — 2011 г.; 16 — 2023 г.

те узлы бифуркации приурочены к границам разноуровневых пойменных террас, что связано со ступенчатой выработкой профиля равновесия при прорезании отложений этих уровней. Стоит отметить, что русловая морфодинамика в дельте весьма активна, и появление новых проток отмечается с периодичностью раз в 10–15 лет при сохранении основных направлений стока. Разные порядки русловой системы дельты обусловлены особенностями устьевых процессов при взаимодействии множества факторов дельтоформирования, включая провальные явления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что речные системы в различных орографических поясах имеют уникальный набор структурных и морфометрических параметров. Для построения моделей стока или прогнозирования опасных гидрологических процессов неизученных рек следует сравнивать условия стокоформирования отдельно для рек высокогорий, среднегорий и равнинных территорий, в том числе устьевых областей. Определено, что не высота водосбора, а уклон русловой системы является основным индикатором принадлежности к определенному орографическому поясу со специфическими условиями стокоформирования в равнопорядковых системах. Для бассейна Селенги определены диапазоны уклонов в разных гипсометрических уровнях. Выявлены различия параметров строения однопорядковых РС и морфометрии их бассейнов для каждой геоморфологической зоны. Отмечено, что в условиях высокогорий речные системы достигают своего порядка с меньшим количеством элементарных водотоков, при небольшой площади водосбора, русловая и временная сеть формируется при небольшой длине в сравнении с нижерасположенным орографическим поясом. Речная сеть среднегорий наиболее разветвленная, здесь отмечается двукратное увеличение магнитуды при том же порядке речной системы, что и в высокогорье.

Составленная мультипараметрическая база параметров РС статистически достоверна и может быть применена при расчетах и прогнозах водоносности, как средней, так и максимальной, а также при геоморфологическом районировании.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (AAAA-A21-121012190059-5).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть. — М.: Государственное издательство географической литературы, 1963. — 572 с.
2. **Геоморфология** Монгольской Народной Республики // Тр. Совм. сов.-монгольск. науч.-исслед. геол. экспед. / Отв. ред. Н.А. Флоренсов, С.С. Коржуев. — М.: Наука, 1982. — Вып. 28. — 259 с.
3. **Монгольская** Народная Республика: Национальный атлас / Под ред. В.В. Воробьёва, Ш. Цэгмида. — Улан-Батор; М.: ГУГК СССР, ГУГК МНР, 1990. — 144 с.
4. **Селенга—Байкал.** Эколого-географический атлас-монография / Гл. ред. Н.С. Касимов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2019. — 288 с.
5. **Амосова И.Ю., Ильичева Е.А.** Структурно-гидрографический подход к определению областей формирования стока рек бассейна оз. Байкал в период максимальной и экстремальной водности // Изв. Иркут. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2024. — Т. 48. — С. 3–24. — DOI: 10.26516/2073-3402.2024.48.3
6. **Keller E.A., Pinter N.** Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. — New Jersey: Upper Saddle River, Prentice Hall Earth Science Series, 2002. — 362 р.
7. **Nooka R.K., Srivastava Y.K., Amminedu V.V.** Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis — Remote sensing and GIS perspective // Journ. Indian Soc. Remote Sens. — 2005. — N 33 (1). — P. 25–38.
8. **Shumm S.A.** Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy // Geol. Soc. Am. Bull. — 1956. — N 67 (5). — С. 597–646.
9. **Strahler A.N.** Hypsometric Area-Altitude Analysis of Erosional Topography // Geological Society of America Bull. — 1952. — Vol. 63, Iss. 11. — P. 1117–1142. — DOI: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2
10. **Pérez-Peña J.V., Azañón J.M., Booth-Rea G., Azor A.** Differentiating Geology and Tectonics Using a Spatial Auto-correlation Technique for the Hypsometric Integral // Journ. of Geophysical Research Atmospheres. — 2009. — N 114. — P. 74–87.
11. **Horton R.E.** Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology // Geological Society of America Bulletin. — 1945. — Vol. 56. — P. 275–370.
12. **Schreve R.L.** Infinite topologically random channel networks // Y. Geol. — 1967. — Vol. 75, N 2. — P. 178–186.
13. **Гарцман И.Н., Казанский Б.А., Карасев М.С., Рябчиков Г.Я., Барвинская Л.В.** Структура речных систем и индикационная оценка их гидрографических характеристик // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1976. — Вып. 54. — С. 69–92.
14. **Казанский Б.А.** Количественная характеристика структуры речных систем // Тр. ДВНИГМИ. — 1977. — Вып. 66. — С. 22–52.
15. **Безруков Л.А., Буряков Б.М., Долгих И.А., Корытный Л.М.** Водные ресурсы КАТЭКа: количественная оценка и использование // Экспериментальные основы географического прогнозирования воздействия КАТЭКа на окружающую среду. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО АН СССР, 1984. — С. 116–131.
16. **Корытный Л.М.** О возможностях использования закономерностей строения речных систем в прогнозах стока // Информационная основа прогноза природных процессов. — Новосибирск: Наука, 1980. — С. 101–106.
17. **Трофимец Л.Н.** Водный баланс и структура речной сети водосборов междуречья Тобол–Вагай–Ишим в пределах Тюменской области // Вестн. Ленинград. ун-та. Сер. Геология. География. — 1978. — Вып. 4. — С. 118–124.
18. **Ильичева Е.А.** Закономерности строения речных систем юга Восточной Сибири и их использование при расчетах и картографировании водных ресурсов: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. — 21 с.
19. **Корытный Л.М., Безруков Л.А.** Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). — Новосибирск: Наука, 1990. — 214 с.
20. **Dong T.Y., Nittrouer J.A., Ilicheva E., Pavlov M., McElroy B., Czapiga M.J., Ma H., Parker G.** Controls on gravel termination in seven distributary channels of the Selenga River Delta, Baikal Rift basin, Russia // Geological Society of America Bull. — 2016. — Vol. 128, N 7. — P. 1297–1312. — DOI: 10.1130/B31427.1

*Поступила в редакцию 15.07.2024*

*После доработки 12.08.2024*

*Принята к публикации 31.10.2024*