

И.Ю. АМОСОВА

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, irinaamosova_83@mail.ru**СТРУКТУРНО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ ИИ**

Впервые представлены данные структурно-гидрографического анализа речной системы Ии. При картографировании территории использовалась методика автоматизированного выделения водосборного бассейна по цифровой модели рельефа (SRTM), на основе которой построена динамическая модель, выделена водно-эрозионная сеть и определены морфометрические характеристики водотоков и их бассейнов — длина, площадь, уклоны. С помощью подхода, основанного на классификации Хортон—Стралера, определен состав водно-эрозионной сети. На основе совместного анализа результатов динамического моделирования водно-эрозионной сети и рисунка речной сети, представленной на топографических картах, были выделены эпизодические, временные и постоянно действующие водотоки. К эпизодическим относятся водотоки 1-го порядка, временным — 2-го и, начиная с 3-го порядка, элементы являются постоянными водотоками. В рамках структурного подхода на основе закономерностей строения водно-эрозионной сети для бассейна р. Ии выделены области формирования, транзита и аккумуляции стока. Анализ структурно-гидрографических параметров по отдельным частным суббассейнам позволяет более детально выявить условия стокообразования в бассейне в целом. Методика, основанная на взаимосвязи структурных мер со средней водоносностью, и сопоставление автоматизированной обработки водно-эрозионной сети с русловой сетью, полученной по топографическим картам, позволяют сделать расчеты максимальной водоносной способности речных систем. Специфика исследуемого бассейна определила индивидуальное построение локальной зависимости максимальной водоносной способности, в результате чего элементы речной системы Ии выделены в три группы. Прогнозная оценка максимально возможного стока в речной системе Ии, который может транспортировать водно-эрозионная сеть, значительно превышает наблюдаемые значения.

Ключевые слова: область формирования, область транзита, область аккумуляции, порядок водотока, структурный анализ, максимальная водоносная способность.

I.YU. AMOSOVA

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, irinaamosova_83@mail.ru**STRUCTURAL AND HYDROGRAPHIC FEATURES IN THE FORMATION
OF SURFACE FLOW OF THE IYA RIVER SYSTEM**

Data of a structural and hydrographic analysis of the Iya river system are presented for the first time. Mapping of the territory used the technique of automated identification of catchment basins in terms of the digital elevation model (SRTM DEM). A dynamic model is constructed, a water-erosion network is identified, and morphometric characteristics of streams and their basins (lengths, areas, and slopes) are determined based on the digital elevation model. Using a methodological approach based on the Horton — Strahler classification, we determined the order of the water-erosion network. Episodic, ephemeral and permanent streams were singled out on the basis of a combined analysis of the results of a dynamic modeling of the water-erosion network and the river network pattern displayed on topographic maps. Episodic, ephemeral and permanent streams include streams of the first and second orders and streams starting with the third order. Regions of formation, transit, and accumulation of flow were identified by using the structural approach on the basis of the structural regularities in the water-erosion network for the Iya basin. By analyzing the structural and hydrographic parameters for the individual partial sub-basins, it is possible to identify in more detail the conditions of flow formation in the basin as a whole. The technique based on the relationship of structural measures with average water-carrying capacity combined with a comparison of the automated processing of the water-erosion network with the channel network obtained from topographic maps permits calculations of the maximum water-carrying capacity of river systems. The specific character of the basin under investigation was the crucial factor for the individual construction of a local relation of the maximum water-carrying capacity, as a result of which the elements of the Iya river system was categorized into three groups. The predictive estimate of the maximum possible flow of the Iya river system, which the water-erosion network can transport, greatly exceeds the observed values.

Keywords: region of flow formation, region of flow transit, region of flow accumulation, stream order, structural analysis, maximum water-carrying capacity.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для многих гидрологических и водохозяйственных задач важное значение имеет информация об условиях формирования поверхностного стока рек. Изучение строения речных систем позволяет выявить основные закономерности пространственного распределения среднего и максимального стока воды во всех звеньях водно-эрозионной сети.

Гидрологические условия территории непосредственно связаны со строением речной сети. Равным образом и рисунок речной сети, характеризующий структуру водной системы, позволяет оценить условия формирования поверхностных вод и является ведущим индикатором средней и максимальной водоносности.

В связи с прохождением катастрофического паводка 2019 г. на р. Ие исследование структурно-гидрографических условий формирования поверхностного стока приобрело особую актуальность, и наибольший интерес представляет максимальная водоносная способность речной системы Ии.

Цель исследования — выявление особенностей формирования стока р. Ии в рамках структурно-гидрографического подхода.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Бассейн р. Ии охватывает часть северо-восточного макросклона Восточного Саяна. Ия образуется в результате слияния рек Хиаи и Холбы [1] на абсолютной высоте 1366 м, протекает по территории Нижнеудинского, Тулунского, Куйтунского и Братского районов Иркутской области, включая городской округ Тулун [2], и впадает в Ийский залив Братского водохранилища.

Гидрологический режим р. Ии характеризуется высокими паводками и слабо выраженным половодьем [3, 4]. Весеннее снеготаяние продвигается с севера на юг равнинной части и снизу вверх в горных районах бассейна. Таким образом, на р. Ие формирование талых вод начинается с устьевых участков и постепенно продвигается к горным верховьям, что обуславливает растянутое и слабо выраженное половодье. Притоки среднего и нижнего течения реки отличаются по характеру внутригодового режима от верхней части бассейна и характеризуются наличием весеннего половодья и летних паводков, в то время как притоки высокогорной части бассейна относятся к району рек с летними паводками, а весеннее половодье продолжительное, но незначительное.

Роль снежников и наледей, имеющих локальное распространение в горных районах, в формировании паводков относительно невелика. Однако повышению пиков паводков в первой половине лета способствует наличие мерзлых почвогрунтов в горах, чем обусловлен поверхностный сток по не оттаявшим крутым склонам [3, 5]. Согласно [6], бассейн р. Ии относится к территории с высоким уровнем опасности наводнений.

Методика структурно-гидрографического исследования бассейна р. Ии базируется на многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых, заложивших основы изучения строения речных систем [7–12]. В целом анализ структуры речных систем и бассейнов широко применяется при геоморфологических и гидрологических исследованиях [13, 14].

Структурный анализ речных систем включает несколько этапов, начиная с построения графа водно-эрозионной сети по материалам топографических карт (статическая модель устойчивого среднего многолетнего стока) и радарной съемки (динамическая модель). Порядок водотоков и всей речной системы Ии определялся по классификациям Хортон–Стралера и Шайдеггера [7–9].

В периоды недостаточного увлажнения сток рек значительно уменьшается, а в некоторых случаях полностью прекращается. В то же время в период максимального увлажнения при прохождении экстремальной водности расширяется область формирования стока за счет функционирования временных и эпизодических водотоков, увеличение количества элементарных звеньев наблюдается вплоть до элементов 3-го порядка. Кроме того, для водотоков, имеющих слепые устья, характерно формирование на поверхности водосбора тальвегов различных звеньев гидрографической сети, по которым также идет сток при наибольшей водности. Таким образом, максимальная водоносная способность речных систем представляет собой экстремально высокий сток, который сможет транспортировать водно-эрозионная сеть.

В качестве исходных данных использовались материалы радарной съемки SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org>) и топографические карты м-ба 1:200 000. SRTM-покрытие на исследуемую территорию перепроектировано в эквидистантную проекцию (Albers_Equal_Area_Conic) и пересчитано в покрытие с размером квадратного пиксела 75 × 75 м. На основе построенной динамической модели выделена водно-эрозионная сеть и определены морфометрические характеристики водотоков и их бассейнов.

Структурные параметры речной системы установлены по программе «Энтропия» (автор Б.И. Гарцман). Гидрологической основой являются среднееголетние и максимальные наблюдаемые расходы воды в створах стандартной сети наблюдений (р. Ия—пос. Аршан, р. Ия—г. Тулун, р. Икей—с. Икей, р. Кирей—с. Уйгат, р. Курзанка—пос. Утай).

Основным расчетным параметром выступает структурный модуль, который представляет собой отношение среднего многолетнего расхода воды к структурной мере (суммарной энтропии [12, 15]) в этой точке [16]. Структурный модуль является критерием деления территории на однородные участки, характеризующиеся схожим набором физико-географических, геолого-геоморфологических, гидрологических условий, что позволяет выделить области стокоформирования и оценить экстремально высокий сток — максимальную водоносную способность.

За основу пространственного распределения максимальной водоносной способности речной системы Ии была принята (и дополнена нами) индикационная зависимость средней водоносности от структурной меры (взята суммарная энтропия) для обеспеченной гидрологической информацией речной системы бассейна р. Ангары [17].

Процедура расчета максимальной водоносной способности речной системы Ии состоит из следующих этапов [18].

1. По программе «Энтропия» определяется суммарная энтропия для всех узлов слияния водотоков на основе анализа графов статической и динамической моделей, построенных по топографической карте и материалам радарной съемки соответственно.

2. По статической модели рассчитываются средний и максимальный структурные модули. В расчетах используется статическая модель как для среднего, так и для максимального структурного модуля, в силу того что гидросеть на крупномасштабных топографических картах, как правило, соответствует уровню воды летней межени и характеризуется устойчивостью стока. Значение же расхода воды принимается для среднего модуля — среднее многолетнее, для максимального — максимальный наблюдаемый.

3. Рассчитывается максимальная водоносная способность речной системы как произведение наибольшего структурного модуля и значения суммарной энтропии по динамической модели в створе. В многоводные периоды заполняется система временных и эпизодических водотоков (прежде непригодных), при этом увеличиваются гидрографический порядок, структурные меры и топологические параметры всей системы и, соответственно, интенсивность стокоформирования. Взаимосвязи в речных системах остаются инвариантными в различные фазы гидрологического режима. Так как динамическая модель учитывает изменение топологических характеристик, связанное с колебанием водности, при которой работает уже первичная водно-эрозионная сеть, ее использование правомерно для расчета максимальной водоносной способности. При определении же средней водоносности к расчету принимаются средний структурный модуль и значения суммарной энтропии по статической модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По классификации [7, 8], р. Ия имеет 7-й порядок и относится к классу больших рек [19], суммарная длина речной системы составляет 13 987 км. Максимальная высота водосбора — 2786 м, средняя высота — 789 м. Уклоны водосбора колеблются от 62 до 3°, тальвегов — от 41 до 1°. Коэффициент густоты речной сети составляет 0,73 км/км².

На основе совместного анализа результатов динамического моделирования водно-эрозионной сети и рисунка речной сети, представленной на топографических картах, были выделены эпизодические, временные и постоянно действующие водотоки. Водно-эрозионные элементы 1-го порядка являются эпизодическими, с длиной тальвегов от 113 м. Элементы 2-го порядка — временные (средняя длина тальвега 1,5 км). Эпизодические и временные водотоки осуществляют склоновый сток, который впоследствии формирует русловой. И только начиная с 3-го порядка элементы являются постоянными водотоками (с длиной водотока до 10 км).

На основе закономерностей строения речных систем выделены области формирования, транзита и аккумуляции стока (ОФС, ОТС и ОАС соответственно) (см. рисунок). Область формирования стока представляет собой часть водосбора, где происходит интенсивное наращивание порядка по длине водотока, до момента образования наивысшего порядка речной системы [16, 20, 21].

Площадь ОФС составляет 9659 км² (50 % от общей площади бассейна), около 60 % сосредоточено в верхней части бассейна, небольшие приводораздельные полосы — в средней (23 %) и нижней (17 %) (см. рисунок). В основном ОФС представлена водно-эрозионными элементами 1–3-го по-

Области формирования стока речной системы Ии.

I — гидрологические посты стандартной сети наблюдений: 1 — р. Ия—пос. Аршан, 2 — р. Ия—г. Тулун, 3 — р. Кирей—с. Уйгат, 4 — р. Икей—с. Икей, 5 — р. Курзанка—пос. Утай. II — область формирования стока; III — область транзита стока; IV — область аккумуляции стока.

рядков, а в верхней части бассейна распространяется по главной реке до 6-го порядка включительно (в 120 км выше пос. Аршан). Ия приобретает свой наивысший порядок уже в горной части бассейна. Абсолютные высоты области формирования стока достигают 2386 м при средней величине 1020 м. Максимальные уклоны поверхности колеблются от 51 до 62°, тальвегов — от 26 до 41° (при средней величине 11–15 и 3–6° соответственно). Суммарная длина речной системы ОФС — 1327 км, при общей длине водно-эрозионной сети 5020 км.

Присутствие большого количества гидрографических элементов первых порядков (2530 элементов) соответствует условиям развития водно-эрозионной сети горной территории и характеризует условия формирования стока как благоприятные.

В верхней, горной части ОФС среднегодовое количество осадков достигает 700–900 мм [1]. Речная сеть области отличается значительной густотой — 0,8–1,0 км/км² [1]. Средний модуль годового стока в пределах области изменяется от 10 до 15 л/с [3]. Сочетание повышенного количества осадков с большими уклонами местности также указывает на благоприятные условия формирования стока.

Область транзита стока характеризуется уже хорошо выраженной главной рекой, притоки ближайших младших порядков отличаются здесь большей протяженностью. При переходе от ОФС к ОТС малые водно-эрозионные элементы частично исчезают, и к 1-му порядку начинают относиться элементы, соответствующие 2-му порядку ОФС. Место впадения последнего притока младшего порядка (относительно порядка главной реки) соответствует нижней границе ОТС.

Область транзита стока составляет 41 % от общей площади водосбора (около 8 тыс. км²) и представлена как первичными водно-эрозионными элементами, так и водотоками 4–6-го порядков. Поскольку на этой территории преобладает аккумулятивный, эрозионно-аккумулятивный рельеф [5, 22], здесь наблюдаются протяженные водотоки с более низким, в сравнении с Ией, порядком (реки Икей, Кирей). Нижняя граница ОТС проходит через устье р. Курзанки.

Абсолютные высоты области транзита стока достигают 1537 м при средней величине 695 м. Максимальные уклоны поверхности колеблются от 23 до 48°, тальвегов — от 6 до 33° (при средней величине 2–6 и 1–3° соответственно).

Среднегодовое количество осадков ОТС составляет 351–400 мм [4]. Речная сеть развита хорошо — 0,5–0,7 км/км² [1] при общей ее протяженности 1675 км. Суммарная длина водно-эрозионной сети — 4522 км. Гидрографические параметры характеризуют максимальный уровень развития элементов речной сети низких порядков ОТС, что свидетельствует в целом о повышенной увлажненности данной области. Значительная длина водно-эрозионной сети ОТС связана с широким присутствием на территории ложбин первичного и временного стока, а также локальных понижений рельефа — оврагов, рвов, в том числе антропогенного происхождения, которые служат емкостями аккумуляции влаги и в условиях переувлажнения территории являются источниками дополнительного поступления воды в речную сеть и на прилегающую территорию. Средний модуль годового стока в пределах области изменяется от 5 до 8 л/с [3].

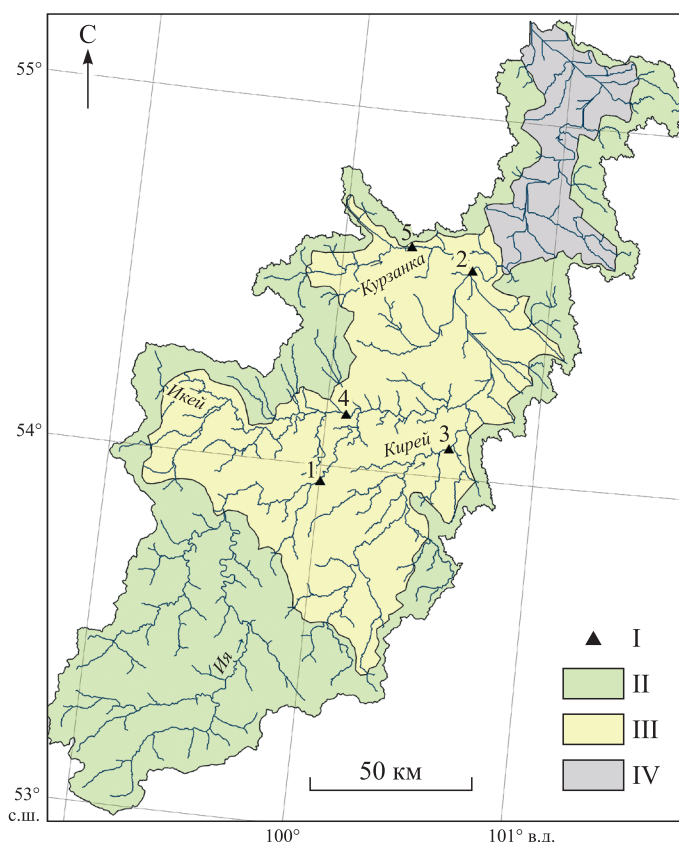


Таблица 1

Гидрографические параметры речной системы Ии

Параметры	Речная система			
	Ия	Кирей	Икей	Курзанка
Площадь водосбора, км ²	19 162	3424	2761	1496
Длина реки, км	484	172	148	117
Суммарная длина водно-эрозионной сети, км	13 987	2541	1970	1125
Суммарная длина речной сети, км	6829	1274	1036	500
Максимальная высота водосбора, м	2786	2326	1812	744
Средняя высота водосбора, м	789	739	703	549
Максимальная высота тальвегов, м	1538	1826	1538	668
Средняя высота тальвегов, м	546	663	648	531
Максимальный уклон водосбора, град.	62	60	41	22
Средний уклон водосбора, град.	8	2	5	3
Максимальный уклон тальвегов, град.	41	32	26	13
Средний уклон тальвегов, град.	3	3	2	1
Густота речной сети, км/км ²	0,73	0,74	0,71	0,75
Порядок речной системы	7	5	6	5

К ОТС отнесены бассейн р. Икей и нижняя часть бассейна р. Кирей, самых крупных ее притоков (табл. 1). Икей, по классификации [7, 8], имеет 5-й порядок с суммарной протяженностью речной сети около 1036 км. Истоки реки приурочены к среднегорью с абсолютными высотами 1500–1800 м, средним уклоном 5° при максимальном 40°; густота водно-эрозионной сети составляет 0,71 км/км². Кирей — крупный правый приток 6-го порядка, с суммарной длиной речной сети 1274 км, берет начало в высокогорной части Восточного Саяна на абсолютных высотах 2300–2100 м (уклон до 60°), в нижнем течении характеризуется уклонами 2–3° и средней степенью развития гидрографической сети. Бассейны притоков рек Икей и Кирей значительно повышают гидрографические и гидрологические показатели водосбора среднего течения р. Ии.

Область аккумуляции стока расположена в нижней части водосбора между устьем водотока и границей ОТС. В силу выполаженности рельефа и общего преобладания аккумулятивных процессов, здесь не образуются притоки низких порядков, соответственно, и не формируются большие объемы местного стока. Нижний участок р. Ии характеризуется полизональным режимом [4], аккумуляция воды здесь происходит за счет ее формирования в основном в пределах верхней стокоформирующей области в горах Восточного Саяна. Область аккумуляции стока составляет всего 9 % от общей площади водосбора. В устьевой части встречаются карстовые проявления [1], с чем связано частичное поглощение некоторых водотоков, особенно в местах их впадения, что обуславливает отсутствие участков транзита стока.

Абсолютные высоты ОАС достигают 671 м при средней величине 483 м. Уклоны несколько уменьшаются, но все же остаются достаточно большими. Максимальные уклоны поверхности колеблются от 16 до 50°, тальвегов — от 13 до 40° (при средней величине 2–7 и 2–9° соответственно). Суммарная длина водно-эрозионной сети — 3580 км, при общей длине речной сети 447 км. Существенное различие этих двух показателей характеризует потенциал аккумулятирующей возможности рельефа ОАС и потенциальной возможности последующей водоотдачи при определенных гидролого-климатических условиях.

Среднегодовое количество осадков ОАС составляет 301–350 мм [4]. Речная сеть развита слабо (относительно областей ФС и ТС), коэффициент густоты речной сети снижается и составляет 0,1–0,3 км/км² [1]. В нижнем течении притоки р. Ии отличаются маловодностью, средний модуль годового стока в пределах области изменяется от 2 до 2,5 л/с [3].

Структурно-гидрографический анализ речных систем как индикационный метод применим для оценки условий формирования стока и расчета среднегодовой и максимальной водоносности. По [17], речная система Ии относится ко второй группе рек северо-восточного макросклона Восточного Саяна (структурный модуль находится в диапазоне от 0,08 до 0,15 м³/(с·бит)) с максимальным значением средней водоносности в бассейне р. Ангара.

Пространственное распределение максимальной водоносной способности речной системы Ии (табл. 2) определяется совокупностью морфометрических, гидрологических и структурно-гидрогра-

Таблица 2

Системно-структурные характеристики и максимальный сток речной системы Ии

Створ (номер створа, см. рисунк)	Системно-структурные характеристики (структурный модуль), м ³ /(с·бит)		Максимальный сток, м ³ /с	
	средний	максимальный	наблюденный	рассчитанный
р. Ия – пос. Аршан (1)	0,17	5,85	2810	4819
р. Ия – г. Тулун (2)	0,17	6,26	4400	14 753
р. Кирей – с. Уйгат (3)	0,22	6,40	1210	3071
р. Икей – с. Икей (4)	0,10	2,15	320	833
р. Курзанка – пос. Утай (5)	0,07	1,17	44,8	211

фических характеристик как бассейна, так и водно-эрозионной сети. Специфика исследуемого бассейна определила индивидуальное построение локальной зависимости между суммарными структурными мерами и максимальными наблюдаемыми расходами воды, в результате чего элементы речной системы Ии подразделяются на три группы.

Первая группа (структурный модуль более 6 м³/(с·бит)) объединяет речные системы суббассейна Кирей и бассейн Ии до Тулуна, сложенные архей-протерозойскими гнейсами. В частности, такой фактор, как широкое распространение на этой территории мерзлой зоны

горных пород [4], способствует тому, что реки данной группы сбрасывают 55 % осадков речным стоком. Максимальная водоносная способность речных систем достигает 15 тыс. м³/с.

Ко второй группе (2–6 м³/(с·бит)) относится речная система р. Икей, здесь развиты кембрийские породы, сложенные известняками и доломитами. Сток рек этой группы несколько ниже предыдущей, до 50 % осадков трансформируется в речной сток. В периоды экстремального увлажнения водно-эрозионная сеть сможет транспортировать 0,8–0,9 тыс. м³/с.

К третьей группе относится бассейн р. Курзанки (менее 2 м³/(с·бит)) с минимальным по бассейну среднемноголетним стоком, однако, несмотря на небольшие размеры водосборного бассейна, при прохождении экстремальной водности водно-эрозионная сеть сможет транспортировать сток в четыре раза больше, чем максимально наблюдаемый. Бассейн представлен юрскими отложениями, характеризуется чередованием песчаника, алевролита.

В нижней части бассейна р. Ии распространены осадочные породы ордовикской системы (мергель, аргиллиты, песчаники с прослоями известняков). По структурно-гидрографической оценке эта часть бассейна относится к ОАС, с неблагоприятными условиями местного стокоформирования для периодов средней и пониженной водности. Однако в период экстремальной водности водно-эрозионная сеть позволяет сформировать до 26 % местного стока (относительно всего водосбора) и принять транзитный. Таким образом, максимальная водоносная способность речной системы Ии в устье составит 19,9 тыс. м³/с.

Прогнозная оценка максимально возможного стока (максимальной водоносной способности) в речной системе Ии, который сможет транспортировать русловая сеть, во много раз превышает наблюдаемые значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количество водно-эрозионных элементов, их распределение и взаимосвязь определяют уникальность каждой речной системы. Анализ закономерностей строения водно-эрозионной сети р. Ии на основе бассейнового принципа позволил выделить области формирования, транзита и аккумуляции стока, что дает возможность получить дополнительную информацию для исследования стока рек. Результаты исследования особенно актуальны для определения экстремально высокой водности в условиях разреженной гидрометеорологической сети или ее отсутствия, а также для рек, на которых постоянно происходит формирование высоких половодий и паводков в целях предупреждения и снижения последствий катастрофических наводнений.

В результате проведенных исследований на основе индикационных зависимостей средней и максимальной водоносности от суммарных структурных мер с применением материалов радарной съемки элементы водно-эрозионной сети р. Ии выделены в три группы, характеризующие распределение максимальной водоносной способности. Аналогичные исследования оценки максимальной водоносной способности проводились для речных систем юго-западного побережья оз. Байкал и речной системы Баргузина. Для речной системы Ии подобное исследование проведено впервые, хотя и выполнено на основе уже существующей методики. На величину максимальной водоносной способности в первую очередь влияет характер рельефа, протяженность топологического пути, сложность рисунка сети, размер водосбора и строение подстилающей поверхности.

Максимальная водоносная способность речных систем при функционировании всех звеньев флювиальной системы является экстремально высокой, а в некоторых случаях и катастрофической. Не исключено, что экстремально высокий сток такой величины при условии накопленного рыхлого материала в бассейне может спровоцировать стихийные бедствия.

Результаты исследования носят рекомендательный характер и могут использоваться для защиты территории от затопления и предупреждения опасных гидрологических ситуаций. Величины максимальной водоносной способности позволят оценить зоны затопления населенных пунктов.

Работа выполнена в рамках государственного задания (AAAA-A17-117041910172-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ресурсы** поверхностных вод СССР / Ред. В.Г. Симов. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — Т. 16, вып. 2. — 400 с.
2. **Географическая** энциклопедия Иркутской области. От А до Я / Ред. Л.М. Корытный. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2019. — С. 79.
3. **Зонов Б.В., Шульгин М.Ф.** Гидрология рек Братского водохранилища. — М.: Наука, 1966. — 168 с.
4. **Астраханцев В.И.** Ангара и ее бассейн. Гидрологический очерк // Труды Вост.-Сиб. геол. ин-та. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — Вып. 12. — 92 с.
5. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Ангара-Енисейская. Л. N-47. — Нижнеудинск. Объяснительная записка / Ред. Е.П. Миронюк, В.В. Перфильев, В.Е. Руденко. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. — 652 с.
6. **Кичигина Н.В.** Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 2. — С. 41–51.
7. **Хортон Р.** Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной морфологии. — М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1948. — 158 с.
8. **Strahler A.N.** Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography // Geol. Soc. Amer. Bull. — 1952. — Vol. 63. — P. 1117–1142.
9. **Scheidegger A.E.** On the topology of river nets // Water Resources Research. — 1964. — Vol. 3, N 1. — P. 3–6.
10. **Философов В.П.** Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1960. — 68 с.
11. **Ржаницын Н.А.** Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 238 с.
12. **Гарцман И.Н., Казанский Б.А., Корытный Л.М.** Структурная мера речных систем и ее индикативные свойства (на примере систем Южно-Минусинской котловины) // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1976. — Вып. 49. — С. 54–60.
13. **Rodrigues-Iturbe I., Rinaldo A.** Fractal River Basin. Chance and Self-Organization. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1997. — 547 p.
14. **Menabde M., Veitzer S., Gupta V.K., Sivapalan M.** Tests of peak flow scaling in simulated self-similar river networks // Advances in Water Resources. — 2001. — N 24. — P. 991–999.
15. **Гарцман И.Н.** Топология речных систем и гидрографические индикационные исследования // Водные ресурсы. — 1973. — № 3. — С. 109–124.
16. **Гарцман Б.И.** Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 223 с.
17. **Антипов А.Н., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Гагаринова О.В., Ильичёва Е.А., Кичигина Н.В., Корытный Л.М., Синокович В.Н.** Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. — 208 с.
18. **Амосова И.Ю., Ильичёва Е.А.** Структурно-гидрографический подход к определению экстремально высокого стока // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2018. — Т. 23. — С. 17–27.
19. **Корытный Л.М.** Классификация речных систем Сибири по их величине // География и природ. ресурсы. — 1985. — № 4. — С. 32–36.
20. **Sheidegger A.E.** A stochastic model for drainage patterns into an intramontane trench // Inter. Association of Scientific Hydrology Bull. — 1967. — Vol. 12. — P. 651–657.
21. **Sheidegger A.E.** On the topology of river nets // Water Resources Research. — 1967. — Vol. 3, N 1. — P. 103–106.
22. **Иркутская область: экологические условия развития: Атлас** / Ред. В.В. Воробьёв, А.Н. Антипов, В. Ф. Хабаров. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН; М.: Роскартография, 2004. — 90 с.

Поступила в редакцию 12.02.2020

После доработки 03.12.2020

Принята к публикации 25.03.2021