

М.Ю. ОПЕКУНОВА, А.В. БАРДАШИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, opek@mail.ru, olek22@mail.ru**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА БАСЕЙНА РЕКИ ИИ
(ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

На основе анализа геоморфометрических показателей пойменного рельефа выявлены особенности распределения потоков при затоплении в пределах различных морфологических участков долины р. Ии. С применением цифровой модели рельефа рассчитаны такие морфометрические характеристики рельефа бассейна р. Ии, как плановая и вертикальная кривизна, а для отражения их распределения в пространстве составлены карты на ряд ключевых участков. Ключевые участки размещались в пределах развития широкопойменного, адаптированного и врезанного типов русла. Выявлено, что на распределение потоков в пределах широкопойменного участка, помимо ширины поймы, повлияло развитие сочетаний сегментно-гравитной и ложбинно-островной пойм, а также общее преобладание плановых зон аккумуляции. Заболоченные плоские поверхности способствовали задержанию воды в пределах этого участка. На расположенном ниже по течению участке с адаптированным руслом кривизна поверхности не сыграла существенной роли в распределении потоков. Положение этого отрезка адаптированного русла между двумя расширенными участками долин, а также сложное сочетание вынужденных излучин послужило дополнительным фактором концентрации потока в узкой долине и развития «площадной эрозии», приведшей к значительному материальному ущербу. Город Тулун расположен в шпоре адаптированной излучины, с довольно плоскими пойменными поверхностями, которые способствовали распластыванию потока. Смена типа русла ниже по течению с широкопойменного на адаптированный могла спровоцировать подпор и задержку водных масс в пределах городской территории.

Ключевые слова: речные долины, пойменно-русловой комплекс, плановая кривизна, профильная кривизна, наводнение.

М.Ю. OPEKUNOVA, A.V. BARDASHV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, opek@mail.ru, olek22@mail.ru**GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE RELIEF
OF THE IYA RIVER BASIN**

Based on analyzing geomorphometric indicators of the floodplain relief of the Iya-river valley, we identified specific features in the distribution of flows during flooding within different morphological areas. A digital elevation model was used in calculating the horizontal and vertical curvature of the valley of the Iya-river, and for representing their distribution in space, maps were compiled for a number of key areas that were located within the development of the wide-floodplain, the adapted and inscribed types of channel. It was revealed that the distribution of flows within the wide-floodplain area, in addition to the width of the floodplain, was influenced by the development of segment and hollow-island floodplains, as well as the general predominance of wetland flat surfaces which are zones of accumulation, which contributed to the retention of water within this area. In the downstream section with the adapted channel, the curvature of the surface did not play a significant role in the distribution of flows. The position of this segment between the two extended sections of the valleys, and also a complex combination of forced bends, served as an additional factor in the concentration of flow in the narrow valley and the development of "areal erosion", which led to significant material damage. A part of the city of Tulun is located in the spur of an adapted bend with fairly flat floodplain surfaces, which contributed to the spreading of the stream. The change of the downstream channel type from a broad-bottomed to an adapted one could provoke back water and retention within the urban area.

Keywords: river valley, floodplain-channel complex, plan curvature, profile curvature, flood.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из ведущих факторов чрезвычайных ситуаций для южных районов Иркутской области являются наводнения, среди которых наиболее опасны дождевые паводочные

[1, 2]. Чрезвычайные ситуации, сложившиеся летом 2019 г. на юге Иркутской области в результате прохождения паводков на реках, еще раз доказывают актуальность изучения механизмов и характера перемещения водных потоков, взвешенных и влекомых наносов.

Морфометрический метод анализа рельефа успешно применяется в работах исследователей, базирующихся на принципе изучения структуры речных бассейнов [1–5], а также геоморфометрического моделирования [6–10], позволяя выявлять пространственно-временные закономерности распределения вещества на различных топологических уровнях.

Цель исследования — выявление влияния рельефа речных долин на распределение потоков воды и наносов во время затопления пойменных массивов в период катастрофических паводков. Для анализа долинного и пойменного рельефа был применен геоморфометрический метод. В качестве модельного участка выбран бассейн р. Ии (приток р. Оки — левого притока р. Ангары). Применение методов геоморфометрического анализа для территории Верхнего Приангарья проводится впервые.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Бассейн р. Ии расположен в пределах разнородных геоморфологических поверхностей — горно-складчатой области Восточно-Саянского поднятия, аккумулятивной равнины Предсаянского прогиба, трапповых областей Среднесибирского плоскогорья [11]. Территория исследования бассейна р. Ии включает ее равнинную часть, для которой характерно распространение осадочных кембрийских, ордовикских, юрских карбонатных песчаников, мергелей, аргиллитов, конгломератов и гравелитов [12]. Геолого-геоморфологические условия во многом обеспечили разнообразие типов русел и пойм.

Бассейн р. Ии в нижнем течении относится к Приангарскому равнинному лесостепному и лесному маловодному району. Для рек этого района характерен преимущественно снеговой тип питания с преобладанием наибольшего стока в период весеннего половодья (апрель–май) и летнего паводка (июль). Выше по течению основных притоков левобережья широкой полосой располагается Присаянский лесной заболоченный и закарстованный район средней водности. Это район переходный от горной области Восточного Саяна к платформенной части, здесь преобладают реки со снегово-дождевым типом питания, весенним половодьем и паводками, наибольший сезонный сток воды и взвешенных наносов (45–55 %) приходится на летний период. Реки бассейна Ии в период прохождения летних паводков наиболее подвержены проявлениям опасных гидрологических явлений [11].

Для р. Ии в горной области характерны преимущественно адаптированный и врезаемый типы русла, в пределах равнинно-платформенной части бассейна при пересечении полей песчаников развивается широкопойменное извилистое русло со свободными и адаптированными излучинами. При пересечении рекой траппов триасового возраста формируются врезаемый и адаптированный типы русла. Террасовый комплекс р. Ии представлен низкой (1,5–2 м) и высокой (4,5–5,5 м) поймами и надпойменными террасами от первой по девятую высотой 6–7, 10–14, 22–24, 30–33, 40–44, 50–60, 75–80, 90–110, 130 м соответственно [12].

Теоретической и методической основой наших исследований послужили разработки основателей отечественной школы русловедения Н.И. Маккавеева [13] и Р.С. Чалова [14, 15], исследователей в области гидравлики пойм Н.А. Ржаницина [16] и Н.Б. Барышникова [17], экологического русловедения — А.В. Чернова [18]. Согласно методическим указаниям [14, 15], была проведена типизация морфодинамических русловых и пойменных типов рек в пределах изученных участков.

В качестве исходных данных использовалась цифровая модель SRTM с разрешением 1 угл. с [19]. Обработка исходных данных производилась в открытой настольной ГИС SAGA (<http://saga-gis.org>).

Значения горизонтальной кривизны вычислены с использованием алгоритма Зевербергена–Торна (Zevenbergen–Thorne) [20] по предварительно отфильтрованной поверхности SRTM скользящим окном с радиусом 5 ячеек. Единицами измерения кривизны являются величины 1/м. Горизонтальная (плановая) кривизна характеризует изменение экспозиции по мере движения вдоль определенного направления и описывает так называемый первый механизм аккумуляции — за счет сближения линий тока в плане [7, 8]. Отрицательные значения горизонтальной кривизны соответствуют вогнутым участкам — зонам конвергенции, где происходит сближение линий тока, положительные значения — выпуклым участкам — зонам дивергенции, где происходит расхождение линий тока.

При вычислении значений вертикальной (профильной) кривизны были использованы сглаженные данные, полученные с помощью мультимасштабного подхода Дж. Вуда [21]. В данном алгоритме значения аппроксимированы по методу наименьших квадратов в скользящем окне размером 11 × 11 ячеек. В качестве исходных параметров использованы показатели уклона и экспозиции. Этот

метод реализован в ГИС SAGA для морфометрической классификации рельефа. Вертикальная кривизна характеризует изменение уклона поверхности вдоль его основного направления и описывает второй механизм аккумуляции — за счет относительного замедления потоков. Отрицательные значения вертикальной кривизны соответствуют вогнутым участкам — зонам аккумуляции, где происходит замедление потоков, положительные значения — выпуклым участкам — зонам сноса, где потоки ускоряются.

Использование предварительной фильтрации либо аппроксимации поверхности позволяет избежать влияния различных шумов и погрешностей исходных данных, сосредоточить внимание на мезоформах рельефа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа территории с точки зрения определения закономерностей распределения потоков в пределах долин и особенно пойменно-русловых комплексов было выделено три ключевых участка. Выбор участков обоснован, во-первых, развитием того или иного типа русла либо их комбинациями, во-вторых, проведением полевых наблюдений, позволивших подтвердить характер обводнения пойменных массивов в период прохождения паводков.

Первый участок расположен в окрестностях дер. Гадалей, здесь получил развитие широкопойменный тип русла со свободным меандрированием. Ширина русла составляет в среднем 200 м, а поймы — 5 км (рис. 1, а). Уклон русла здесь незначителен — 0,5 м/км, при среднем уклоне поймы 0,3 м/км.

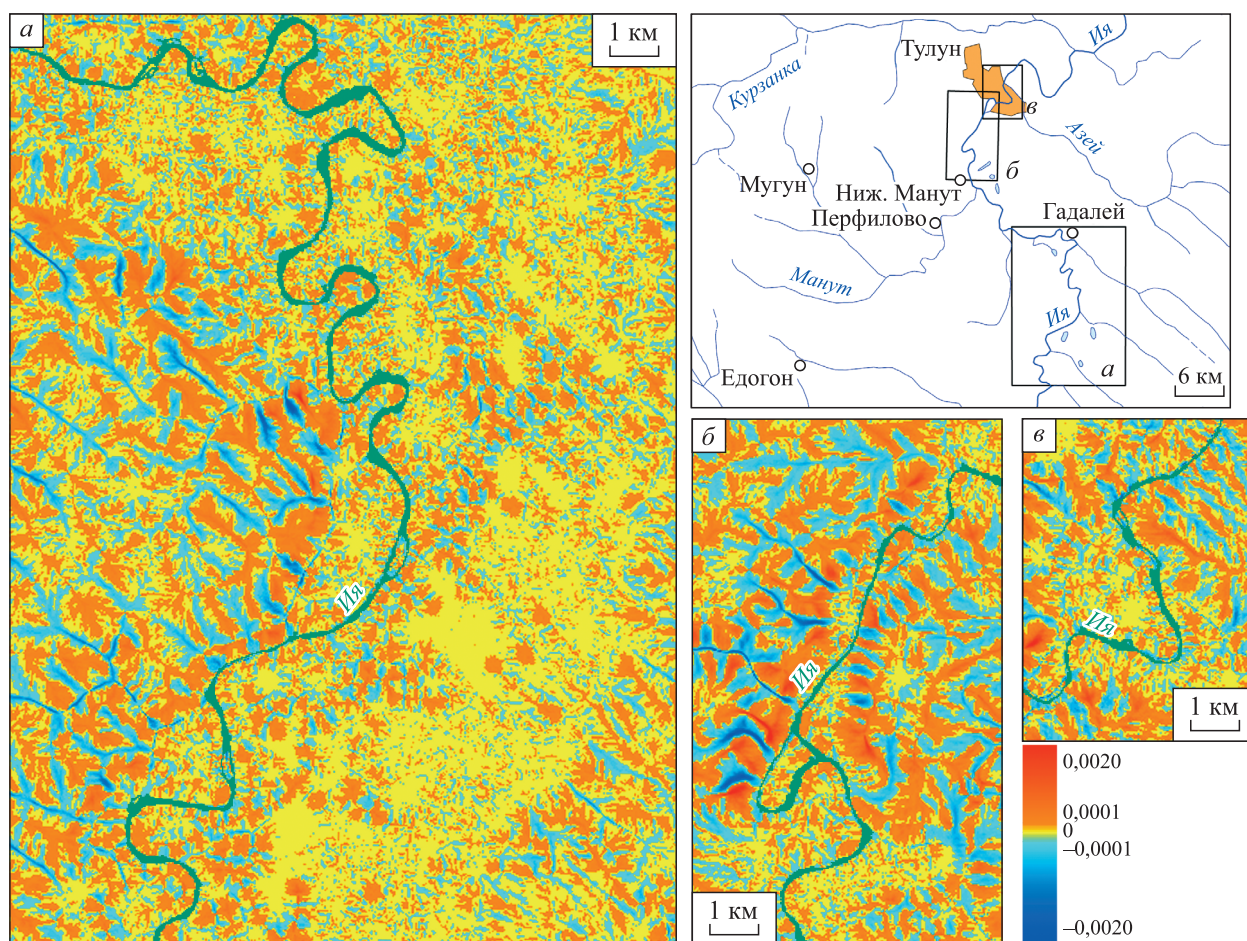


Рис. 1. Карта-схема горизонтальной (плановой) кривизны поверхности долины р. Ии.

а — широкопойменный участок (с. Гадалей); б — участок с адаптированным типом русла (дер. Ниж. Манут — г. Тулун); в — участок с широкопойменным и адаптированным типами русла (г. Тулун). В верхнем правом углу — схема территории исследования с ключевыми участками (в прямоугольниках).

Русло извилистое, разветвленно-извилистое, с относительно прямолинейными неразветвленными вставками между излучинами. Излучины свободного меандрирования представлены сегментными пологими и развитыми синусоидальными типами. Пойма состоит из сочетания сегментно-гравистого и ложбинно-островного типов.

В южной и восточной частях участка выделяются обширные плоские области, соответствующие заболоченным массивам, а также вытянутым преимущественно в северо-западном направлении водоразделам.

Статистическая обработка коэффициентов вертикальной профильной кривизны в долине р. Ии и получение значений ряда параметров позволили более точно охарактеризовать рельеф в пределах различных участков и тенденции эрозионно-аккумулятивных процессов. Горизонтальная кривизна (k_h) варьирует от $-0,0013$ до $0,0022 \text{ м}^{-1}$. В целом для участка разброс значений k_h невелик, о чем свидетельствует среднее квадратическое отклонение ($\sigma = 1,6 \cdot 10^{-8}$). Положительный коэффициент асимметрии ($S = 0,2321$) говорит о преобладании вогнутых форм в рельефе участка (ложбины стока, межгрядовые и старичные понижения), но его малая величина указывает на незначительное преобладание таких форм. Коэффициент эксцесса $E = 8,91$ показывает небольшое отклонение k_h от модальных (для всех показателей на этом участке и далее мода равна 0 или близка к нему). Исходя из этих данных, а также принимая во внимание то, что обширные площади пойменных поверхностей занимают ареалы со значениями k_h , равными 0, рельеф данного участка можно рассматривать как относительно выровненный с обширными зонами замедления потоков воды и наносов. В большей степени это относится к пойменным массивам и поверхностям террас.

На карте поверхности пойм и террас хорошо дешифрируются размерами сочетаний ареалов с одинаковыми значениями k_h ($-0,0025$ – $0,0000$ и $0,0000$ – $0,1000$). Для пойменных поверхностей характерны длины ареалов меньше 1 км, а для террас — больше 1 км. На террасовых уровнях ареалы положительных значений плановой кривизны хорошо подчеркивают северо-западную ориентировку водоразделов притоков р. Ии. В пределах пойменных массивов ориентировка таких ареалов более разнообразна, что характерно для сегментно-гравистого типа пойм с разноориентированными гривами и сопряженными с ними понижениями (ложбинами). Линейные ареалы с минимальными значениями k_h , соответствующие зонам конвергенции, служат индикаторами концентрации потоков в пределах пойменных массивов при прохождении паводочных вод.

Геоморфометрический анализ рельефа показал доминирование отрицательных форм микрорельефа, а, следовательно, предрасположенность рельефа на данном участке к аккумуляции вещества — водных потоков и наносов. Ареалы с положительными значениями плановой кривизны оконтуривают уступ, примыкающий к пойме в левобережной части долины, как дополнительную область сноса. Таким образом, в левобережной части долины, помимо притоков, функции транзита обломочного материала в период обводненности территории будут выполнять уступы террас. Поэтому их необходимо учитывать как дополнительный источник опасности развития эрозионных процессов, поставки материала и нагрузки на пойму и русло.

Значения вертикальной (профильной) кривизны (k_v) в пределах рассматриваемого участка изменяется от $-0,0012$ до $0,0011 \text{ м}^{-1}$ (рис. 2, а). На территории исследования большую площадь занимают ареалы $k_v \sim 0$, которые оконтуривают плоские равнинные и заболоченные поверхности пойм и террас. Ареалы со значениями $k_v > 0$ окаймляют выпуклые склоны средней крутизны, уступы террас и грив, приводораздельные поверхности. Ареалам со значениями k_v от $-0,0001$ до $0,0000 \text{ м}^{-1}$ соответствуют русла и тальвеги, с минимальными значениями k_v — притеррасное понижение.

Отрицательное значение коэффициента асимметрии и его малая величина ($-1,0981$) говорят о небольшом преобладании выпуклых форм в продольном профиле — зон ускорения потоков. Таким образом, кривизна элементов положительных микроформ пойменного и террасового рельефа способствует незначительному разделению потоков вещества и перераспределению его в зоны аккумуляции (отрицательные формы микрорельефа), которые преобладают на этом участке.

Результаты данного анализа подтверждаются полевыми наблюдениями во время прохождения второй волны паводка, которые показали, что произошло затопление отрицательных форм пойменного микрорельефа — межгрядовых понижений и ложбин в пределах сегментно-гравистых и ложбинно-островных пойм. Таким образом, рельеф рассматриваемого участка обладает, во-первых, стабилизирующей функцией для водных потоков, так как значительные площади занимают поверхности с нулевыми значениями k_v , на которых скорости водных потоков замедляются. Во-вторых, в отрицательных формах рельефа — зонах аккумуляции, преобладающих на этом участке, происходит концентрация водных потоков, взвешенных и влекомых наносов.

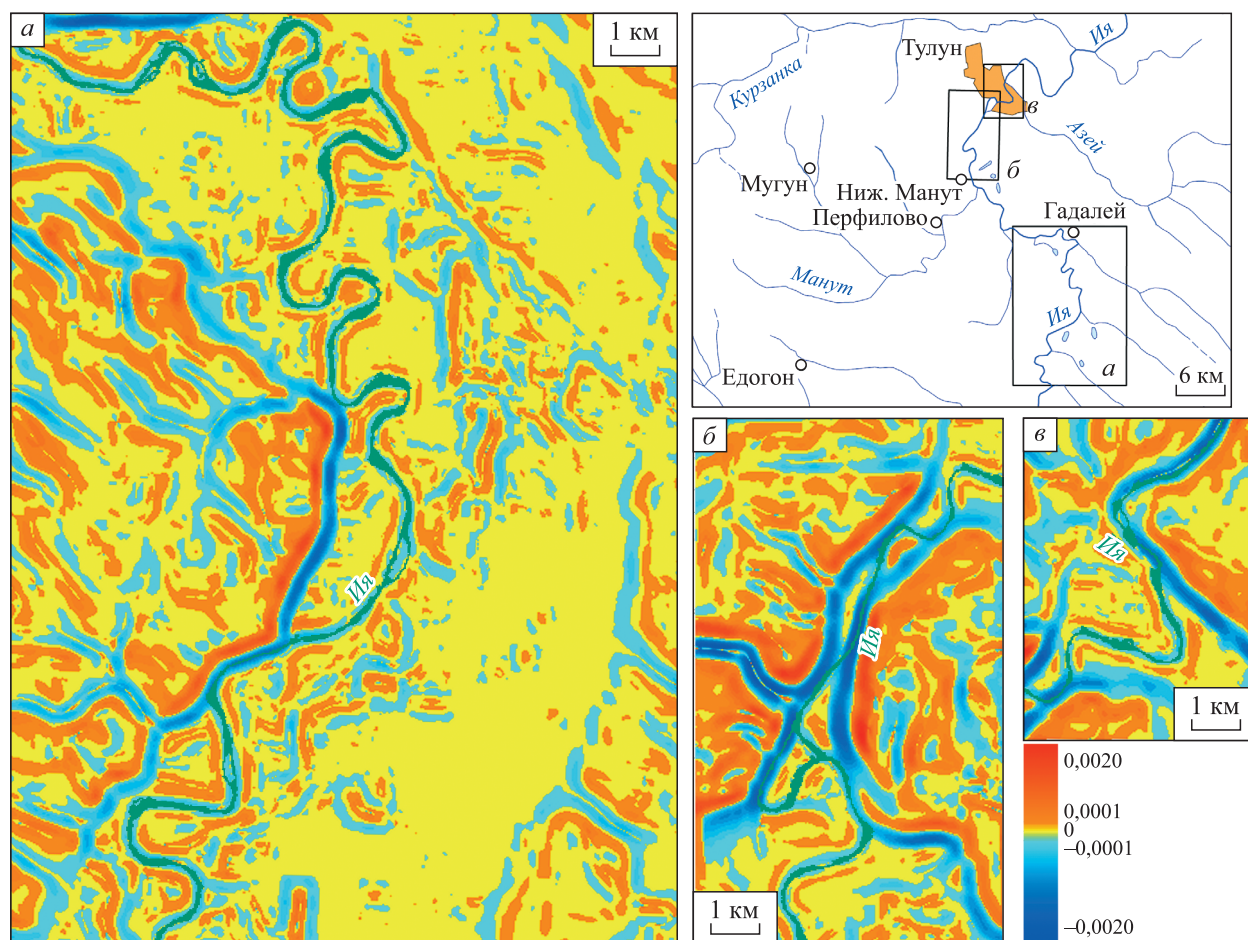


Рис. 2. Карта-схема вертикальной (профильной) кривизны поверхности долины р. Ии.

Усл. обозн. — см. рис. 1.

Согласно исследованиям Н.Б. Барышникова [17], доказано существование пяти типов взаимодействия руслового и пойменного потоков. Подтверждено, что величина соотношения ширины поймы и меженного русла ($B_{п}/B_{р}$) влияет на сложность и разнообразие гидравлической структуры потока при затопленной пойме [22]. При этом чем больше соотношение $B_{п}/B_{р}$, тем сложнее и разнообразнее гидравлическая структура потока, а чем разнообразнее рельеф, в данном случае сочетание сегментно-гвивистого и ложбинно-островного типов, тем значительнее вариативность взаимодействия потоков на затопленной пойме.

Таким образом, дополнительным фактором распыливания и распределения потока, помимо ширины поймы, на данном участке послужило многообразие пойменных типов, в частности ложбинно-островного типа, и общее преобладание плановых аккумулятивных областей. Задержанию потока способствовало также незначительное преобладание зон сноса и заболоченные площади-аккумуляторы в пределах пойменного массива.

На участке, расположенном ниже по течению (дер. Нижний Манут — г. Тулун), при пересечении рекой полей базальтов триасового возраста формируется адаптированный тип русла (см. рис. 1, б). Ширина поймы здесь составляет две-три ширины русла, пойма преимущественно ровная или изогнуто-гвивистая. Геометрия расположений излучин русла в пределах узкой долины определяет сложность условий прохождения паводковых потоков. При входе в сужение рекой образованы две развитые сегментные излучины, соединенные прямолинейной вставкой, которые образуют комбинацию вынужденной и адаптированной излучин.

Следующая ниже по течению гипертрофированная вынужденная излучина [15, 23] с отношением длины к шагу $l/L = 3,7$, углом встречи потока с коренным берегом $\alpha = 138^\circ$ находится в стадии спрямления. Спрямленный участок, в свою очередь, образовал пологую сегментную излучину с вершиной

у коренного берега. Ниже по течению наблюдается серия сегментных излучин, развивающихся в пределах узкой долины.

Горизонтальная кривизна варьирует от $-0,0021$ до $0,0022 \text{ м}^{-1}$. Разброс значений горизонтальной кривизны для этого участка выше, чем для предыдущего (среднеквадратическое отклонение $\sigma = 6,7 \cdot 10^{-8}$). Положительный коэффициент асимметрии $S = 0,0938$ говорит о преобладании вогнутых форм в рельефе участка, так как в его пределах расположены многочисленные карьеры, на которых ведется добыча угля открытым способом (см. рис. 1, б). Высокий коэффициент эксцесса $E = 9,43$ свидетельствует о небольшом отклонении значений горизонтальной кривизны от модальных, т. е. о преобладании поверхностей, близких к модальной кривизне.

В целом области сочетаний ареалов со значениями в интервале от $-0,1$ до 0 оконтуривают эрозионную сеть, а ареалы со значениями выше — водораздельную. Если рассматривать пойменные массивы шпор адаптированных излучин, то здесь значения плановой кривизны варьируют от $-0,0001$ до $0,0001$, образуя сочетание вогнутых и выпуклых поверхностей различных конфигураций. Для поверхности шпоры ниже дер. Нижний Манут эти ареалы соответствуют формам сохранившегося пойменного рельефа — гривам и ложбинам, формам антропогенного воздействия — карьерам по добыче гравийно-галечной смеси.

Большое распространение линейных ареалов с минимальными значениями k_h вне поймы, соответствующих зонам конвергенции, также способствовало концентрации потоков в пределах пойменных массивов при прохождении паводочных вод.

Значения вертикальной кривизны изменяются от $-0,0013$ до $0,013 \text{ м}^{-1}$. На территории исследования большую площадь занимают ареалы с $k_v \sim 0$, которые оконтуривают плоские равнинные и заболоченные поверхности пойм и террас (см. рис. 2, б). Ареалы со значениями $k_v > 0$ окаймляют выпуклые склоны средней крутизны, уступы террас и грив, приводораздельные поверхности. Ареалам со значениями k_v от $-0,0001$ до 0 м^{-1} соответствуют русла и пойменные поверхности, с минимальными значениями k_v — приустьевые участки и тальвеги притоков р. Ии. Отрицательное значение коэффициента асимметрии ($S = -0,6423$) говорит о том, что в продольных профилях поверхностей преобладают выпуклые формы, т. е. зоны дивергенции, которые способствуют рассеиванию и выносу вещества.

Таким образом, характеристики кривизны рельефа долины на этом участке показывают потенциал к накоплению воды в пределах пойм, однако, учитывая катастрофический характер прохождения паводка (скорости подъема уровня воды и потока, объемы водных масс) [24], можно сказать, что особенности микрорельефа не повлияли на характер распространения водных потоков.

Характер затопления пойменных массивов в районе исследования обусловлен не кривизной их поверхностей, т. е. не геоморфометрическими параметрами, а особенностями морфологии и морфометрии долины. Чередование разных типов русла и пойм, смена емкости пойм оказывают влияние как на типы взаимодействия руслового и пойменных потоков, так и на виды эрозионно-аккумулятивных процессов [13–17]. Так, садоводства, разместившиеся в шпорах адаптированных излучин на участке дер. Нижний Манут — г. Тулун, оказались в своеобразной ловушке. Здесь сужение долины р. Ии после широкопойменного Гадаевского расширения послужило дополнительным фактором, усилившим поток, который буквально смел все постройки. Подобные явления А.И. Смирнов с соавторами [25] предложил называть «площадной речной эрозией». Под данным видом эрозии понимается разрушение и последующий смыл речными водами строений и инженерных сооружений в периоды бурных скоротечных половодий и кратковременных естественных и искусственных паводков.

В пределах Тулуна р. Ия образует макроизлучину, шпору которой занимает пойменный массив. Ниже по течению река обладает адаптированным и врезанным типами русла (см. рис. 1, 2).

Горизонтальная кривизна варьирует от $-0,0010$ до $0,0014 \text{ м}^{-1}$. В целом для участка разброс значений невелик, о чем свидетельствуют среднеквадратическое отклонение $\sigma = 2,2 \cdot 10^{-8}$. Положительный коэффициент асимметрии ($S = 0,89540$) говорит о преобладании вогнутых форм в рельефе участка, а коэффициент эксцесса $E = 6,21$ показывает небольшие колебания значений горизонтальной кривизны относительно модального, что характеризует поверхность как относительно однородную. Области сочетаний ареалов с величинами в интервале от $-0,1$ до 0 оконтуривают эрозионную сеть, а ареалы со значениями выше них — водораздельную.

В пределах пойменного массива макроизлучины кривизна изменяется от $-0,0001$ до 0 , доминируют поверхности со значениями, близкими к 0 . В прирусловых частях выделяются выпуклые поверхности (k_h изменяется от 0 до $0,0001$), соответствующие пойменным гривам (см. рис. 1, в). Распространение ареалов с минимальными величинами k_h в пределах пойм, соответствующих зонам конвергенции,

способствовало концентрации потоков в пределах пойменных массивов при прохождении паводков. Однако преобладание плоских поверхностей способствовало распыливанию потока при выходе из пойменных бровок.

Величины вертикальной кривизны изменяются от $-0,008$ до $0,0009$. Среднеквадратичное отклонение ($2,6 \cdot 10^{-8}$), а также значения квартилей указывают на однородный в целом характер профиля склонов. Отрицательный коэффициент асимметрии ($-0,7376$) и его малая величина говорят о не-большом превалировании выпуклых участков в продольном профиле поверхностей, т. е. о преобладании зон ускорения. Такие поверхности соответствуют склонам террас и водоразделов, тогда как уступам пойм, низким террасам, склонам долин малых притоков р. Ии отвечают вогнутые профили (см. рис. 2, в). Такая форма склонов является индикатором их периодического взаимодействия с потоком, а также свидетельствует о неустойчивости к эрозии слагающих их отложений.

Таким образом, в пределах описываемого участка форма уступов высоких поверхностей способствует сносу материала по направлению к руслу. При прохождении паводков, особенно катастрофических, вследствие общей обводненности территории и водонасыщения грунтов эта характеристика склонов высоких поверхностей может выступать как дополнительный фактор развития склоновых процессов и источник аккумуляции в пределах пойменно-руслowych комплексов.

Так, для широкопойменных участков дополнительным фактором распыливания и распределения потока, помимо ширины поймы, послужило многообразие пойменных типов, в частности ложбинно-островного, и общее преобладание плановых аккумулятивных областей. Задержанию потока способствовали также незначительное преобладание зон сноса и заболоченные площади-аккумуляторы в пределах пойменного массива.

На характер распределения паводочных вод в границах адаптированного участка русла повлияло расположение его между двумя широкопойменными отрезками реки, а также геометрия вынужденных излучин в пределах узкой долины. Совокупность этих факторов спровоцировала развитие «площадной речной эрозии», приведшей к катастрофическим для населения Тулунского района последствиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы поток—русло и поток—пойма (в период паводков и половодий) постоянно взаимодействуют и влияют друг на друга. Поэтому морфодинамический тип русла, тип пойменного рельефа и его морфометрические характеристики, безусловно, являются важными факторами, воздействующими на характер распространения потока, в том числе и при прохождении катастрофических паводков.

Необходимо отметить, что при выпадении долговременных осадков и общей обводненности территории в распределении потоков играют роль не только характеристики пойменного рельефа, но и его сочетание с долинным рельефом в целом, а также характер сочленения и сочетания склонов и поверхностей пойм.

Геоморфометрический анализ рельефа бассейна, в частности пойменно-руслowych комплексов, позволил выявить факторы, обусловившие характер прохождения и распространения паводковых вод в пределах морфодинамически однородных участков.

Работа выполнена в рамках госзадания (АААА—А21—121012190017—5) при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Иркутской области (17—45—388070—р_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новаковский Б.А., Симонов Ю.Г., Тульская Н.И. Эколого-геоморфологическое картографирование Московской области. — М.: Научный мир, 2005. — 72 с.
2. Есипова Е.С., Кобяков К.Н., Колбовский Е.Ю., Милаковский Б.Д., Маланин П.Б., Лисунов О.А., Омелько А.М., Пуреховский А.Ж., Старожилов В.Т., Ухваткина О.Н. Методические подходы и рекомендации к зонированию малонарушенных лесных территорий на юге Дальнего Востока России. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2016. — 41 с.
3. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани: морфологический анализ. — М.: ГЕОС, 2009. — 207 с.
4. Иванов М.А., Ермолаев О.П. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным SRTM и Aster GDEM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 2. — С. 98—109.

5. Колбовский Е.Ю., Климанова О.А. Геоинформационное картографирование сухопутных границ полуостровов (на примере полуостровов Ямал и Гыданский) // Геодезия и картография. — 2018. — Т. 79, № 11. — С. 34–46.
6. Шарый П.А. Геоморфометрия в науках о Земле и экологии, обзор методов и приложений // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2006. — № 8 (2). — С. 458–473.
7. Флоринский И.В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию // Пространство и Время [Электронный ресурс]. — www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/PDF-files/2227-9490e-aprov_e-ast111.2016.71.pdf (дата обращения 17.07.2018).
8. Шарая Л.С., Шарый П.А. Элементарные формы в классификациях рельефа, их связь с характеристиками ландшафта Приокско-Террасного заповедника // Изв. Самар. научного центра РАН. — 2004. — Спец. вып. «Природное наследие России», ч. 1. — С. 102–111.
9. Павлова А.И., Каличкин В.К. Использование геоморфометрического анализа рельефа при создании базы данных сельскохозяйственных земель // Сиб. вестн. сельскохозяйств. науки. — 2016. — № 5. — С. 5–13.
10. Полякова Е.В. Геоморфометрический подход в геоэкологических исследованиях северных территорий страны // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 3. — С. 117–122.
11. Атлас Иркутской области: Экологические условия развития / Ред. В.В. Воробьёв, А.Н. Антипов, В.Ф. Хабаров. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН; М.: Роскартография, 2004. — 90 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Ангара-Енисейская. Л. N-47 — Нижнеудинск. Объяснительная записка. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. — 652 с.
13. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. — 355 с.
14. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. — М.: Изд-во ЛКИ, 2008. — 608 с.
15. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. — М.: Красанд, 2011. — 960 с.
16. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 264 с.
17. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 280 с.
18. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. — М.: ООО «Крона», 2009. — 684 с.
19. SRTM 1 Arc-Second Global [Электронный ресурс]. — <https://www.usgs.gov/centers/eros> (дата обращения 17.07.2018).
20. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitive analysis of land surface topography // Earth Surface Processes and Landforms. — 1987. — Vol. 12. — P. 47–56.
21. Wood J.D. The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models. — Leicester: University Leicester, 1996. — 193 p.
22. Нестеренко Д.П. Пойменный режим равнинных рек на примере Волжского бассейна: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2013. — 32 с.
23. Ярных Н.А. Деформации русла и берегов на крутой излучине // Труды Гос. гидрол. ин-та. — 1978. — Вып. 252. — С. 56–62.
24. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области 2019 года // Водное хозяйство России. — 2019. — № 6 — С. 48–65.
25. Смирнов А.И., Ткачёв В.Ф. Инженерно-геологические условия строительства // Атлас Республики Башкортостан. — Уфа: ГУП ГРУ «Башкортостан», 2005. — С. 66–68.

Поступила в редакцию 29.11.2019

После доработки 09.06.2020

Принята к публикации 13.10.2021