

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(147-158)

С.А. ТУХТА*, **О.И. БАЖЕНОВА***, **, **Ю.В. РЫЖОВ***, **, ****Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, varitan@ya.ru, bazhenova@irigs.irk.ru, ryzhovyurij@yandex.ru**Иркутский научный центр, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, bazhenova@irigs.irk.ru, ryzhovyurij@yandex.ru***Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, ryzhovyurij@yandex.ru**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КАСКАДНОЙ ЛИТОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
БАССЕЙНА Р. КУДЫ (ВЕРХНЕЕ ПРИАНГАРЬЕ)**

С системных позиций исследовано перераспределение наносов в бассейне р. Куды в результате деятельности эрозионно-аккумулятивных процессов. Подчеркнута современная геодинамическая позиция бассейна, приуроченного к переходной зоне от Сибирской платформы к Байкальскому рифту. Рассмотрен вклад криогенных, карстовых и эоловых процессов в мобилизацию вещества в системе. Выполнена количественная оценка объемов перемещения вещества в верхней (склоновой), средней (овражно-балочной) и нижней (руслевой) литодинамических зонах бассейна. По данным временных рядов основных гидроклиматических показателей определена многолетняя динамика функционирования бассейна. С помощью космических снимков выявлено изменение хозяйственной деятельности в бассейне за последние 30 лет, выражающееся в сокращении площади пашен и расширении земель, занятых многолетними травами. Вычислено, что ежегодный объем наносов, перемещаемых в бассейне, достигает 3 184 430 т. Из них основная часть (89 %) вовлечена в движение стоком ливневых вод и только 364 405 т переносится со стоком талых вод. Роль овражной эрозии в сносе и транспортировке наносов незначительна: большинство оврагов в условиях свертывания земледелия малоактивны, средняя скорость прироста вершин оврагов не превышает 0,5 м/год. Руслевые процессы в основном направлены на перераспределение наносов между соседними участками русла, его дальний транспорт ограничен карстовыми процессами и значительной антропогенной трансформацией днищ долин. Годовой сток взвешенных и влекомых наносов составляет лишь 31 000 т, основной вынос вещества из системы происходит в растворенном виде. В целом механический объем выноса наносов из системы равен 1 %. Остальной материал перераспределяется в бассейне и вызывает усиленную аккумуляцию. Показано, что почти половина наносов перехватывается крупными прудами, оставшая часть аккумулируется в днищах долин на участках с активным развитием карста, на поймах, а также делювиальных и пролювиальных шлейфах. Исследованием установлена общая направленность преобразования рельефа в результате функционирования бассейна, заключающаяся в его выравнивании.

Ключевые слова: склоновый смыв, овражная эрозия, сток взвешенных наносов, пруды, баланс наносов в бассейне.

S.A. TUKHTA*, **O.I. BAZHENOVA***, **, **Yu.V. RYZHOV***, **, ****V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, varitan@ya.ru, bazhenova@irigs.irk.ru, ryzhovyurij@yandex.ru**Irkutsk Scientific Center, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 134, Russia, bazhenova@irigs.irk.ru, ryzhovyurij@yandex.ru***Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 128, Russia, ryzhovyurij@yandex.ru**THE FUNCTIONING OF THE CASCADE LITHODYNAMIC SYSTEM OF THE KUDA RIVER BASIN
(UPPER ANGARA REGION)**

The redistribution of sediments in the Kuda river basin as a result of erosion-accumulation processes is investigated from the systems perspective. The current geodynamic position of the basin associated with the transition zone from the Siberian platform

to the Baikal rift is emphasized. The contribution of cryogenic, karst and aeolian processes to the mobilization of matter in the system is considered. A quantitative assessment of the amount of transported material in the upper (slope), middle (ravine) and lower (riverbed) lithodynamic zones of the basin was made. Time series of the main hydroclimatic indicators were used to determine the long-term dynamics of the functioning of the basin. Using the satellite images, we identified changes in the economic activities within the basin over the past 30 years. They imply a reduction in croplands and an expansion of grasslands. Calculations show that the annual volume of sediments transported within the basin reaches 3 184 430 tons. Most of them (89 %) are involved in the movement by the runoff of storm water, and only 364 405 tons are transported with the runoff of melt water. The role of gully erosion in ablation and sediment transportation is insignificant, because most of the gullies are inactive with a reduction in agriculture; the average growth rate of the heads of gullies does not exceed 0.5 m/year. Channel processes contribute primarily to the redistribution of sediments between adjacent sections of the channel, and their transport to large distances is limited by karst processes and by a significant anthropogenic transformation of the bottoms of the valleys. The annual flow of suspended and transported sediments is a mere 31 000 tons, and the main ablation of material from the system occurs in a dissolved form. In general, the mechanical volume of sediment yield from the system makes up 1 %. The rest of material is redistributed in the basin and causes an enhanced accumulation. It is shown that almost half of the sediments is intercepted by large ponds; the rest is accumulated in the bottoms of the valleys in areas with active karst development, on floodplains as well as in talus and proluvial trains. The study determined a general trend in the transformation of the relief as a result of the functioning of the basin implying its planation.

Keywords: slope wash, gully erosion, suspended sediment yield, ponds, sediment balance in the basin.

ВВЕДЕНИЕ

Речные бассейны выступают главными элементами пространственной организации географической оболочки [1]. В связи с этим бассейновый подход стал основополагающим при решении многих фундаментальных и прикладных вопросов географии [2–6]. Бассейны — иерархически построенные целостные образования, в которых замыкаются многие виды кругооборота вещества, обособившиеся в четких орографических границах [6]. Как сложные каскадные системы [7], в которых в результате перераспределения вещества и энергии между подсистемами происходит постоянная перестройка рельефа, бассейны представляют большой интерес для геоморфологов. Изучение функционирования бассейнов (работы по перераспределению стока воды, наносов и растворенных веществ) позволяет исследовать механизмы взаимодействия процессов, оценивать скорость и направленность преобразования рельефа, а также давать прогноз развития эрозионно-аккумулятивных процессов на ближайшую перспективу. Поэтому в настоящее время во всем мире отмечается расширение геоморфологических исследований малых и средних речных бассейнов, в которых достаточно быстро проявляется изменение влияния отдельных факторов на режим функционирования литодинамических систем [8]. Особенно актуальны такие исследования для бассейнов, в которых на фоне климатических флуктуаций произошли серьезные изменения в землепользовании [9]. Заметных перестроек в динамике эрозионно-аккумулятивных процессов следует ожидать в сельскохозяйственных районах России, где с конца 1990-х гг. отмечается сокращение площади пахотных земель. При этом для изучения перераспределения наносов особый интерес представляют речные бассейны в лесостепных районах, так как лесостепной максимум бассейновой эрозии имеет четко выраженную антропогенную обусловленность [10, 11]. В связи с этим приоритетными объектами для познания функционирования литодинамических систем выступают речные бассейны лесостепей юга Сибири, отличающиеся высокой чувствительностью и быстрой реакцией на изменения климата [12]. Нами для такого анализа выбран бассейн р. Куды, расположенный на юге Среднесибирского плоскогорья. В данной статье представлены результаты исследования его функционирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Куды — правый приток Ангары. Площадь бассейна составляет 8042 км². Он расположен в переходной перирогенной зоне от Сибирской платформы к Байкальскому рифту и отличается сложным рельефом (рис. 1). Бассейн вытянут с северо-востока на юго-запад вдоль простирания главных морфоструктур Байкальской рифтовой зоны на 230 км. Северо-западная окраина бассейна лежит в пределах Лено-Ангарского плато. Центральная и северо-восточная части занимают Предбайкальскую впадину. С юго-востока бассейн граничит с Онотским плоским поднятием. В нижнем течении р. Куды располагается Иркутско-Черемховская равнина, расчлененная густой сетью речных долин, вытянутых преимущественно в меридиональном направлении. Наибольшая разность высотных отметок в пределах бассейна р. Куды составляет 630 м. Глубина эрозионного расчленения, как и абсолютная высота поверхности, закономерно уменьшается с севера и северо-востока на юго-запад (см. рис. 1).

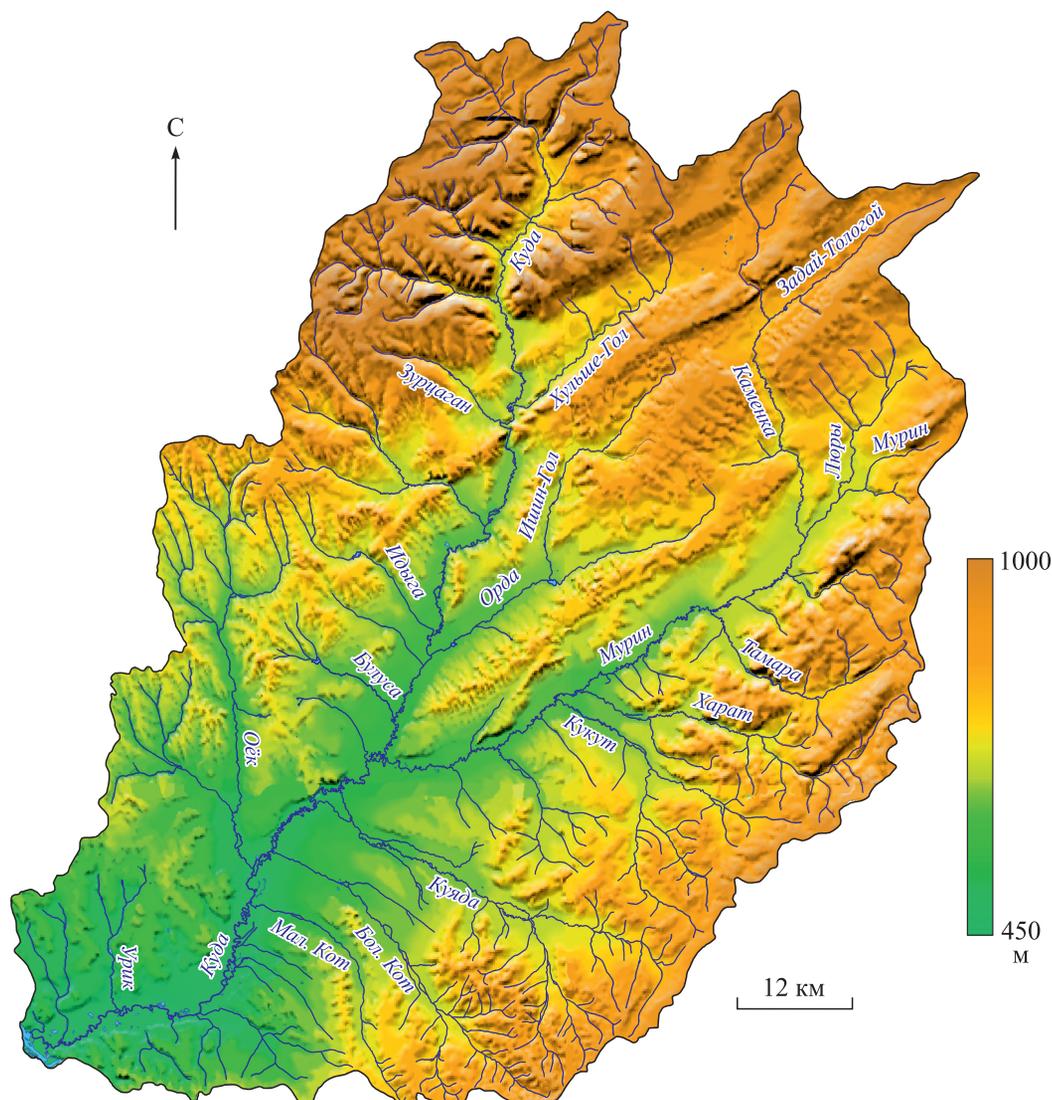


Рис. 1. Цифровая модель рельефа бассейна р. Куды.

Исследование перераспределения наносов в бассейне выполняется с системных позиций. Анализируется каскадная система, целостность которой определяется однонаправленными потоками вещества в соответствии с законами гравитации от верхних гипсометрических уровней рельефа к нижним. Направление движения литопотоков в рассматриваемой системе хорошо иллюстрирует цифровая модель рельефа бассейна р. Куды (см. рис. 1). В качестве отдельных геоморфологических элементов рассматриваются склоны междуречий, овражно-балочная и речная сеть [13], которые представляют различные литодинамические зоны [5]. Интегрирующим элементом системы выступает русло р. Куды. При изучении каждой подсистемы и каждого временного интервала функционирования бассейна используется свой набор современных методов, принятых на вооружение мировым сообществом геоморфологов [8]. При этом применяется комплексная методика изучения геоморфологических систем, позволяющая выполнить всесторонний анализ их функционирования. Такой подход сочетает наземные исследования с дистанционным зондированием (с широким использованием ГИС-технологий), изучением рыхлых отложений, картографированием процессов, анализом временных рядов гидроклиматических показателей функционирования бассейна и применением расчетных моделей. Геоморфологическая работа в пределах бассейна характеризует объем мобилизации вещества со склонов и в днищах долин. Количественная оценка перераспределения вещества во всех литодинамических зонах позволяет определить баланс наносов в бассейне и коэффициент доставки наносов.

ПРОЦЕССЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА МОБИЛИЗАЦИЮ ВЕЩЕСТВА В БАССЕЙНЕ

Процесс мобилизации потоков вещества в бассейне достаточно сложен. Растительность, почвенный покров, литология пород, климат и хозяйственная деятельность человека могут затуманивать закономерности структурной бассейновой организации, поэтому важно знать вклад этих осложняющих факторов; их исследования создают надежную основу для прогнозно-географических оценок последствий хозяйственной деятельности человека [1].

Бассейн р. Куды характеризуется сложным геологическим строением, в котором принимают участие дислоцированные породы нижнего и верхнего кембрия, угленосные юрские отложения, а также отложения Кудинской свиты (нижнетретичный период). В среднечетвертичное время поменялось на диаметрально противоположное направление течения реки — с северо-восточного с впадением в пра-Лену на современное юго-западное [14]. Для понимания особенностей функционирования бассейна важно подчеркнуть, что наличие достаточно густой сети глубоко врезанных долин с серией террас, ширина которых не превышает одного километра (см. рис. 1), свидетельствует о преобладании в настоящее время медленных поднятий. Исключение составляют южная и юго-западная части бассейна, которые, судя по распространению в долинах рек широких (до 3,5 км) сильно заболоченных пойм, испытывают относительное погружение [14].

Бассейн входит в состав Лено-Ангарской лесостепи. Почвенный покров отличается разнообразием. Широкое распространение здесь получили черноземы, почвы подзолистые, серые лесные, дерново-карбонатные, лугово-черноземные, болотные и солончаки. Наиболее распространенным типом растительности являются леса, которые занимают около 50 % площади бассейна. Господствуют смешанные леса и редкостойная светлохвойная тайга. Сплошные массивы лесов наблюдаются в верховьях р. Куды и по ее правым притокам — Нижней Хаге, Зурцагану и др. В пределах Онетской возвышенности сплошной лес распространен по верховьям левобережных притоков р. Куды — рек Мурина, Харат, Кукут, Большой Кот и др.

Степи приурочены к долинам рек и, как правило, занимают поверхность 2-й и 3-й надпойменных террас, а также южные склоны. Среди степных растений в бассейне р. Куды преобладают дерновинные злаки и некоторые засухоустойчивые виды разнотравья. Террасы рек и поверхности невысоких междуречий, испытывающие периодически недостаток влаги, заняты злаково-разнотравной степной растительностью. На склонах южной экспозиции развиты злаковые степи, сменяющиеся на крутых участках выходами коренных пород. Довольно широко распространены по территории бассейна болота и болотные луга. Наиболее крупные массивы болот наблюдаются в долинах Куды и Мурина, а также их притоков (Харат, Кукут, Куяда, Большой Кот и др.).

Бассейн относится к районам недостаточного увлажнения с выраженным аридным ядром в его центральной части, где средняя годовая сумма осадков, по данным метеостанции пос. Усть-Ордынский, составляет 284 мм, варьируя в разные годы от 135 (1977 г.) до 434 мм (1994 г.). В северо-восточной части бассейна (станция Баяндай) средняя годовая сумма осадков увеличивается до 342 мм, изменяясь от 200 (1977 г.) до 556 мм (1948 г.). И наконец, в устьевой части бассейна, по данным метеостанции Иркутск, средняя годовая сумма осадков достигает 421 мм, варьируя в разные годы от 211 (1884 г.) до 821 мм (1938 г.). В ходе атмосферного увлажнения хорошо прослеживается внутривековая цикличность. За последние 130 лет выделяется один квазишестидесятилетний цикл и два 35-летних. При анализе более короткого временного ряда отмечаются в основном 3–5-летние циклы (рис. 2, а), влияющие на сток воды и наносов. Среднегодовая температура воздуха отрицательная за период инструментальных наблюдений, при этом самые низкие температуры характерны для долины р. Баяндайки, где она в 1969 г. составляла -4°C , а максимальная зафиксирована в 2015 г. на метеостанции Иркутск (3°C). В бассейне современное потепление климата вызывает деградацию многолетней мерзлоты и усиление аридизации территории [15].

В качестве одного из основных факторов развития склонового смыва выступает эрозионный индекс ливневых осадков (R_{30}), определяемый за 30-минутный интервал времени. Средние годовые значения его в бассейне составляют 5–7, но периодически в годы высокого увлажнения они превышают 20 (см. рис. 2, б) и характеризуют бассейн как район с сильной эрозионной опасностью ливней [16]. Изменения интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в русле контролируются многолетними колебаниями водности. По данным интегральной разностной кривой стока воды в замыкающем створе р. Куды у с. Грановщина [17] и многолетней динамики модуля стока воды (см. рис. 2, в), за период инструментальных наблюдений четко выделяется чередование многоводных и маловодных фаз.

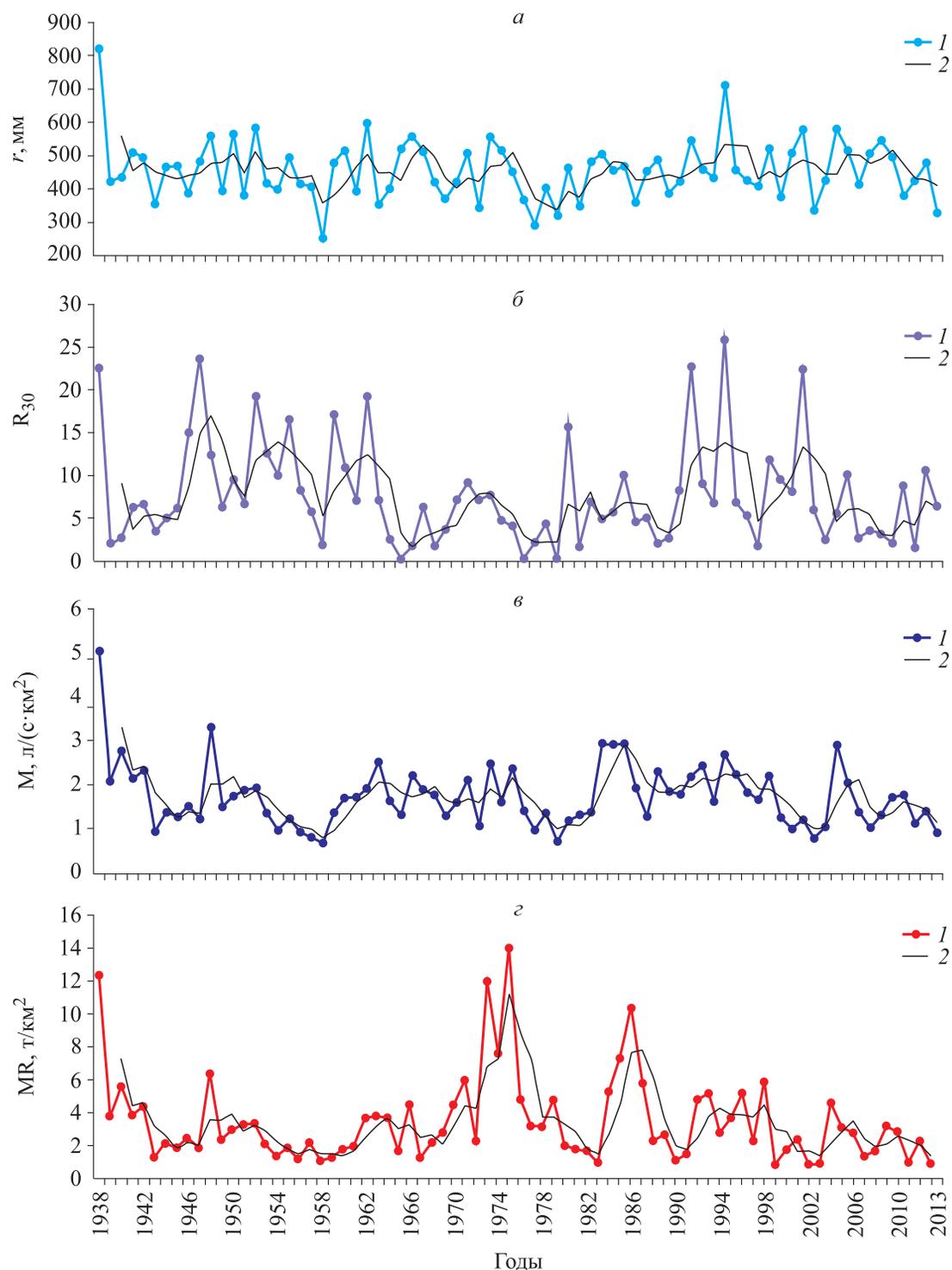


Рис. 2. Многолетняя динамика гидроклиматических показателей функционирования бассейна р. Куды. а — годовое количество осадков (Иркутск); б — эрозийный индекс осадков (Иркутск); в — средний годовой модуль стока воды (с. Грановщина); г — средний годовой модуль стока взвешенных наносов (с. Грановщина). 1 — ежегодные данные; 2 — данные, сглаженные по трехлетиям.

Минимальный средний годовой модуль стока воды отмечался в 1958, 1979 и 2002 гг. и составлял 0,70–0,75 л/(с·км²). Наиболее высокие значения были зарегистрированы в 1938, 1948, 1963, 1973, 1983–1985, 1994 и 2004 гг., они варьировали от 2,5 до 5 л/(с·км²) и способствовали активизации рус-

ловых процессов в эти годы. Питание рек бассейна происходит главным образом за счет атмосферных осадков. На долю грунтового питания приходится 17,8 % [18].

В подготовке вещества к движению активно участвуют криогенные процессы. По геокриологическому районированию бассейн расположен в зоне островного и массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) и длительного сезонного промерзания почвогрунтов [19]. В Предбайкальской депрессии мощность ММП колеблется в пределах первых 10 м, достигая иногда в долинах Куды и Мурина 30–40 м, максимальная мощность (40–60 м) ММП наблюдается в долине р. Баяндайки (у с. Баяндай). Глубина сезонного промерзания варьирует от 0,5–1 м в торфяных грунтах до 4 м в щебенистых, песчано-гравийных. Мерзлота формируется в суглинистых и глинистых грунтах с глубиной сезонного протаивания 2–2,5 м. Процессы промерзания и оттаивания грунта сопровождаются развитием мерзлотных деформаций (пучение грунта, термокарст, солифлюкция и др.). Следует отметить, что по термическому режиму ММП Приангарья крайне неустойчивы. Их температура близка к 0 °С, иногда опускается до –1 °С. В результате потепления климата они быстро деградируют. Этот процесс отмечается здесь с 1930-х гг. и проявляется расширением термокарстовых процессов [19]. В целом в Приангарье за последние 40 лет глубина промерзания снижалась в среднем со скоростью 1,2 см/год. Особенно быстрыми темпами этот процесс происходил с 1982 по 1996 г., когда отрицательный тренд глубины промерзания превысил 6 см/год, а сама глубина сократилась почти на 1 м [15]. Ускоренный характер этих процессов сопровождается активизацией термокарста и сокращением площади подземного оледенения пещер. Индикатором процессов деградации ММП служат многочисленные свежие термокарстовые воронки в долинах Баяндайки, Мурина, Каменки и др. Наиболее крупные из них заняты озерами, днища других заболочены. Диаметр отдельных впадин достигает 150 м, глубина — 10 м.

На перераспределение наносов в бассейне влияют и карстовые процессы. Их следствие — образование карстовых воронок и пещер, в которых оседает вещество. Карстовые образования встречаются как на водоразделах, так и в долинах. Долинный карст наблюдается в верховьях Куды, Мурина, Каменки и др. Особый интерес вызывают участки долин прорыва, которые включают в себя элементы водораздельного и долинного карста. Их возникновение связано прежде всего с тем, что современная речная сеть не полностью унаследовала пути древних рек. Куда и ее притоки то используют древние долины, то, неожиданно круто изгибаясь, прорывают гряды водоразделов и устремляются в соседние долины. Участки прорыва представляют собой прямолинейные, узкие и глубокие коридоры, соединяющие две просторные древние долины [20].

Определенные коррективы в перераспределение вещества вносят эоловые процессы. По количеству пыльных бурь, их интенсивности и продолжительности бассейн относится к зоне с сильным проявлением дефляции, транзита и аккумуляции эолового материала [21]. Среднее число пыльных бурь изменяется в бассейне от 6–8 (Иркутск, Хомутово) до 12 (Усть-Орда) [21].

Бассейн имеет длительную историю сельскохозяйственного освоения и входит в число основных аграрных районов Усть-Ордынского Бурятского округа. Сегодня 172 км² от его общей площади занимают населенные пункты, 812 км² подлежит распашке, часть земель нарушена добычей полезных ископаемых, выпасом скота, 141 км² приходится на гари и современные лесные рубки, масштабы которых ежегодно увеличиваются. С помощью дешифрирования космоснимков Landsat 7 и 8 по состоянию на

Таблица 1

**Изменение структуры землепользования
в бассейне р. Куды за 1989–2016 гг.**

Агрофон и нарушенные ландшафты	Площадь					
	1989 г.		2000 г.		2016 г.	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Пар	389,5	4,8	102,9	1,2	164,5	2
Зерновые	864,8	10,7	826	10,2	647	8
Пропашные	154	1,9	155,9	1,9	172	2,1
Многолетние травы	1691	21	2017	25	2840	35,2
Луга	728,5	9	728,2	9	736,9	9,1
Лес	4144	51,5	4075	50,6	4068	50,5
Вырубки	58,5	0,7	85,08	1	57,8	0,7
Гари	0	0	42,7	0,5	83,43	1

1989, 2000 и 2016 гг., а также полевых исследований установлен характер покрытия бассейна, вычислены площади агроценозов и рассмотрена их временная динамика (табл. 1). В целом площадь распаханых земель за 27-летний период снизилась до 10 %. Значительные сокращения пашни произошли в центральной и южной частях бассейна, а на севере их практически не осталось. Здесь они локализованы в виде небольших очагов вблизи населенных пунктов. В настоящее время пахотные земли в основном сконцентрированы на юге и в виде небольших ареалов присутствуют в центральной и северо-восточной частях бассейна. Многолетние травы покрывают 35 % площади изучаемого бассейна. Это на 14 и на 10 % больше, чем в 1989 и

2000 гг. соответственно. Раньше эти земли были подвержены интенсивной распашке, сейчас они заняты сенокосами, лугами и пастбищами.

Таким образом, в бассейне Куды отмечается влияние большого количества факторов на перераспределение наносов. Они осложняют ход эрозионно-аккумулятивных процессов.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОСОВ В БАССЕЙНЕ

Рассмотрим перераспределение наносов в бассейне р. Куды в соответствии с его структурой от верхних звеньев эрозионной сети к нижним. Для количественной оценки перераспределения наносов в верхних звеньях эрозионной сети использовались эмпирические модели талого и ливневого смыва, возможность применения которых для лесостепных районов Сибири предварительно была проверена данными полевых экспериментальных исследований [16]. В результате составлены карты распределения зон с различной интенсивностью ливневого смыва [22]. Количественные значения смыва представлены в табл. 2 и 3. Они показывают, что в верхних звеньях эрозионной сети основной вклад в перераспределение наносов принадлежит *ливневому смыву* (см. табл. 2), в результате которого в движении участвует более 2,8 млн т наносов. Особенно высокие показатели ливневого смыва отмечаются на гарях и на участках интенсивных рубок леса [22]. *Смыв от стока талых вод* оказывает значительно меньшее влияние на функционирование бассейна. Практически повсеместно скорости талого смыва минимальны: на 85 % площади бассейна смыв не превышает 0,5 т/га в год (см. табл. 3).

В перераспределении наносов в бассейне заметную роль играет *сток растворенных веществ*. Поверхностные воды бассейна р. Куды различаются по химическому составу и минерализации [18]. Выделяются реки с водой малой минерализации (менее 200 мг/л) — Верхняя Хага, Куяда, Большой Кот; средней минерализации (200–500 мг/л) — Молька, Дундайка, Мурин, Баяндайка; повышенной минерализации (500–1000 мг/л) — Оёк; высокоминерализованной (более 1000 мг/л) — Орда, Ишин-Гол, Каменка [18]. Для расчета стока растворенных веществ берем среднее значение минерализации воды в устьевой зоне 450 мг/л. Исходя из среднего годового расхода воды 14,1 м³/с, получаем средний годовой сток воды, равный 444 657 600 м³. Отсюда сток растворенных веществ составляет 200 106 т, а модуль ионного стока — 24,8 т/км² (около 25 т/км² в год). Эта величина близка к средним значениям химической денудации, характерным для лесостепной зоны умеренного пояса [11].

Для учета эрозионно-аккумулятивных процессов в среднем звене каскадной системы исследовалась *овражная эрозия*. Согласно расчетам по топографическим картам и космическим снимкам высокого разрешения на водосборе насчитывается 510 оврагов суммарной протяженностью 137 км. Плотность оврагов — 6,5 ед./100 км², густота расчленения — 17,5 м/км² [23]. Овраги распространены неравномерно в бассейне (рис. 3.) Максимальная густота и плотность форм размыта приурочена к безлесным склонам западной, южной и юго-западной экспозиций долин Куды, Дундайки, Кукуна в пределах Лено-Ангарского плато. Здесь распространены «приводораздельные» овраги [24]. Формы размыта прорезают маломощный чехол делювиальных суглинков и сильно выветрелые трещиноватые, легкоразмываемые загипсованные алевролиты и мергели нижней подсвиты верхоленской свиты верхнего кембрия. На 1 км склона по ширине насчитывается до 100–120 промоин (см. рис. 3). На склонах Лено-Ангарского плато широко распространены лёссовидные суглинки и супеси мощностью до 10 м

Таблица 2

Распределение зон с различной интенсивностью потенциального ливневого смыва в пределах бассейна р. Куды, по [22]

Интенсивность смыва	Распространение	
	зона	т/га
Неэрозионноопасные	>1	2294
Слабо эрозионноопасные	1–2,5	2594
Умеренно эрозионноопасные	2,5–5	1541
Средне эрозионноопасные	5–10	1222
Сильно эрозионноопасные	10–20	193
Чрезвычайно эрозионноопасные	<20	187

Таблица 3

Распределение зон с различной интенсивностью потенциального смыва от стока талых вод

Интенсивность, т/га	Распространение	
	занимаемая площадь, км ²	% от общей площади бассейна
<0,2	3486	43
0,2–0,5	3351	42
0,5–1	568	7
1–2	490	6
2–3	30	0,5
3–4	48	0,6
>4	74	0,9

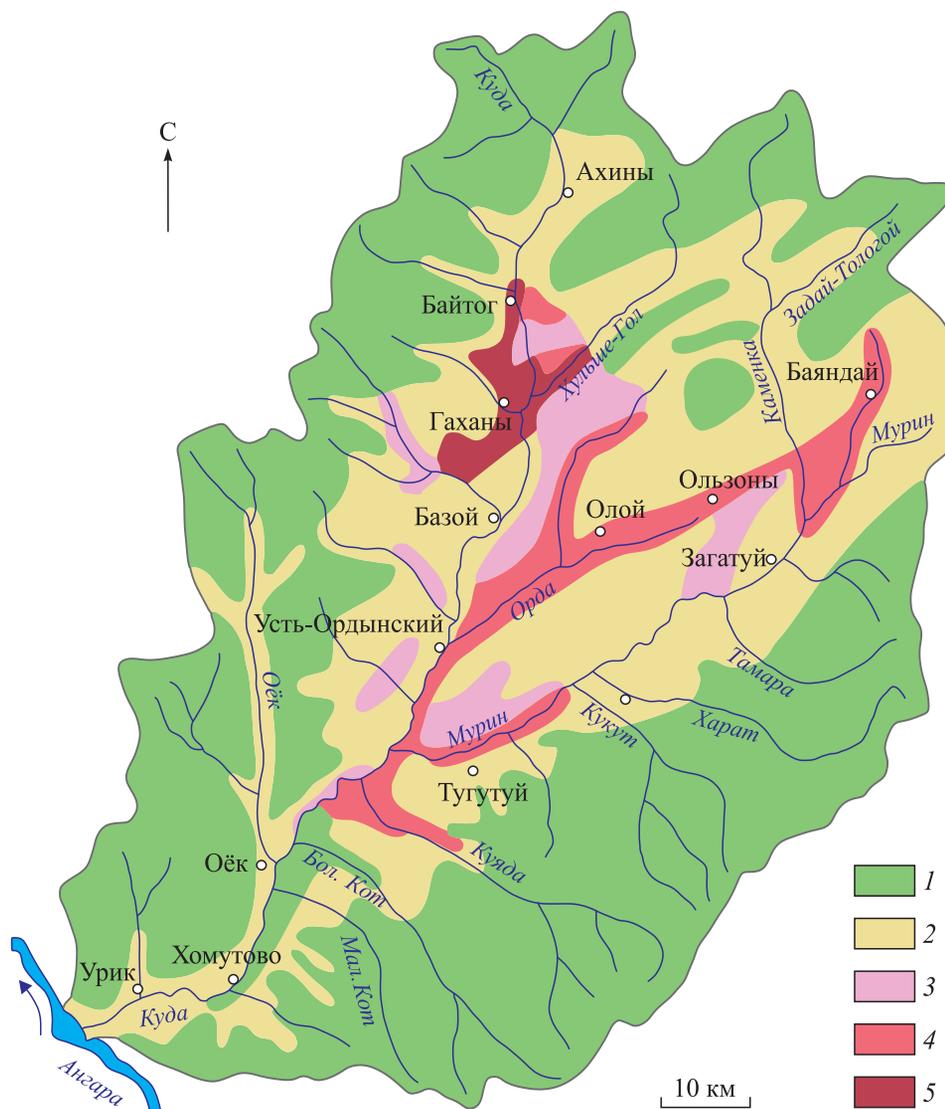


Рис. 3. Плотность оврагов в бассейне р. Куды, ед./100 км².

1 — отсутствуют, 2 — 1–10, 3 — 10–25, 4 — 25–50, 5 — более 50.

[19]. В них плотность оврагов обычно составляет 1–10 (до 25) ед./100 км². Залесенные участки поражаются промоинами и оврагами редко, в основном в местах вырубок леса, прокладки дорог, горных выработок.

В пределах Предбайкальской впадины овраги встречаются в наиболее освоенной части и приурочены преимущественно к долинам Куды, Мурина, Орды, Каменки. На остальной территории впадины формы размыва встречаются единично на склонах и в днищах балок. На Иркутско-Черемховской равнине отдельные овраги выявлены на уступах террас р. Куды и ее крупных притоков, в днищах балок. На Онотской возвышенности, занимающей юго-восточную часть бассейна р. Куды, овраги или отсутствуют, или распространены единично по колеям и кюветам грунтовых дорог на участках вырубки леса.

В целом бассейн р. Куды характеризуется слабым овражным расчленением. Преобладают короткие (до 100–200 м) промоины и овраги глубиной 1–3 м. Для приводораздельных оврагов характерен прирост в устьевой части. Их вершины нередко упираются в уступы высотой до 50 м, сложенные кембрийскими песчаниками. За последние три десятилетия в связи с сокращением площадей пашни и снижением поголовья скота новые овраги возникли на участках вырубки леса, а существующие покрылись травянистой и древесной растительностью, темпы роста их вершин не превышают 0,2–0,5 м/год.

По характеру *русловых процессов* в бассейне р. Куды выделяется четыре района, отражающих влияние геоморфологического строения территории [25]. Морфология речных долин в пределах Лено-Ангарского плато предопределена литологией пород с широким распространением карста. Реки обладают яшикообразными заболоченными долинами со склонами крутизной 8–20°. Глубина эрозионного вреза достигает 300 м. Отличительной чертой долины р. Куды на этом участке стало чередование широкопойменного извилистого русла с участками сухих русел, на которых происходит поглощение поверхностных вод в толще сильно закарстованных мергелей и доломитов верхоленской свиты. Для пойменных поверхностей характерно обилие карстовых воронок, для коренных склонов — наличие выходов источников в зоне разгрузки карстовых вод. В пределах участка высохшего русла его ширина составляет 4,5–5 м. Дно русла представляет собой чередование воронок глубиной 1,3 м и длиной 13 м и ровных участков. Ниже по течению долина р. Куды расширяется, ширина обводненного русла составляет 7–8 м, высота поймы 1,7–2 м, а ширина — 40 м. В целом русловые процессы перераспределяют наносы между соседними участками, а не выносят их за пределы Лено-Ангарского плато.

Для средней части бассейна, в пределах Предбайкальской впадины, характерна система линейных антиклинальных складок северо-восточного простирания (Божеханской, Кудинской, Муринской и др.). Ширина гряд колеблется от 1 до 3 км. Сопряженные с грядами впадины имеют корытообразную форму с широкими (до 10 км) днищами. Для этого участка бассейна характерно широкое распространение древних долин, сохранившихся отдельными участками от пос. Сухокуядский до р. Булусы и от устья р. Ишин-Гол до устья р. Мурин. В левобережной части бассейна распространен специфический тип речных долин, связанный с трещиноватостью, закарстованностью пород. В основном это реки, которые частично наследуют участки древних долин, резко меняют направление, пересекают гряды антиклинальных складок и попадают на другой участок древней долинной сети. Такие участки долин прорыва карстовых частей бассейна [20] характеризуются и специфическим стоком. Например, летом расход воды в р. Каменке в 200–300 м выше и ниже по течению от участка прорыва достигает 2,5 м³/с, а на участке прорыва русло остается сухим [20]. Для русла р. Куды при пересечении хребтов антиклинальных складок характерно сужение долины и спрямление руслового потока. Отчетливо прослеживается данный процесс при прохождении Божеханской антиклинали, где на фоне развития пальцеобразных излучин, часто с врезанными в коренные породы вершинами, происходит постепенное сужение долины. В этих очень своеобразных геоморфологических условиях энергия русловых процессов также затрачивается на перераспределение наносов между соседними долинами.

На Онотской возвышенности реки Большой и Малый Кот, Куяда, Кукут, Харат и др. берут начало из болот и ключей, для них характерен извилистый тип русла с широкими заболоченными пойменными массивами. В среднем и нижнем течении русла частично видоизменены в результате хозяйственной деятельности. Данные изменения отражаются на внешнем облике речных долин в виде искусственных каналов, отведенных от естественных русел, прудов и др. [25]. Это зона транзита наносов.

Территория бассейна в пределах Иркутско-Черемховской равнины испытала наиболее интенсивный антропогенный прессинг. В морфологии долин это выразилось в прямом воздействии на русло (постройки дамб, плотин с перегораживанием русла), однако наиболее видоизменились под воздействием человека поверхности пойм и террас. На поймах распространены процессы заболачивания, встречается эоловый и термокарстовый нанорельеф. В этой части бассейна р. Куды формируется пойма сегментно-гривистого типа. Преобладающий тип русловых процессов — аккумуляция.

Одним из важных показателей функционирования бассейна выступает *модуль стока взвешенных наносов*. Рассмотрим его динамику в замыкающем створе у с. Грановщина за период с 1938 по 2013 г. (см. рис. 2, *з*). Максимальные значения среднегодового модуля стока взвешенных наносов за 75-летний временной интервал отмечались в 1938, 1973, 1975 и 1986 гг. (от 10,4 до 14 т/км²). Минимальные значения (от 0,9 до 1,5 т/км²) были зафиксированы в 1943, 1954, 1956, 1958, 1959, 1967, 1983, 1990, 1999, 2002, 2003, 2007, 2011 и 2013 гг. Обращает на себя внимание хорошая согласованность стока воды и стока взвешенных наносов (см. рис. 2, *в, з*). Из всего ряда выделяются два пика максимального стока взвешенных наносов, приуроченные к началу освоения целины (1962–1975 гг.) и ко времени наибольшей распаханности земель (1984–1987 гг.). В целом же объем стока взвешенных наносов из бассейна довольно низкий — в среднем 28 тыс. т в год.

Количественная оценка перераспределения вещества во всех литодинамических зонах (рис. 4) позволяет определить *баланс наносов в бассейне*. Согласно количественной оценке (см. табл. 2), склоновым ливневым смывом в среднем в год перемещается 2 820 025 т наносов. Эта величина получается при суммировании объемов смыва всех зон с разной интенсивностью процессов. Под действием

бассейна на рис. 4, вычислялся по данным карты распределения зон смыва бассейна р. Куды [22]. В сумме получается 1 296 875 т.

Остальной объем наносов, составляющий 1 856 555 т (55 %), откладывается на пойме, делювиальных и пролювиальных шлейфах, а также на участках днищ долин с активным проявлением карста. Таким образом, основная часть наносов, участвующих в перераспределении, остается в бассейне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование перераспределения наносов в каскадной литодинамической системе бассейна р. Куды показало, что ее функционирование происходит в условиях сложного сочетания природно-антропогенных факторов. Среди природных факторов выделяются современные тектонические движения в переходной зоне от Сибирской платформы к Байкальскому рифту, создающие гравитационный потенциал для активного перемещения вещества в каскадной системе. Лесостепной статус литодинамической системы обеспечивает высокие скорости эрозионно-аккумулятивных процессов, а также участие в мобилизации вещества к движению нескольких групп процессов, включающих криогенные, карстовые и эоловые. В результате активного смыва почв в верхней склоновой зоне эрозионной сети к днищу долин ежегодно доставляется 3 184 430 т наносов. При этом происходит снижение верхнего яруса рельефа, в котором участвуют также медленные массовые движения грунтов и эоловые процессы. Однако основная часть вещества, участвующего в движении, остается в бассейне, так как интенсивная хозяйственная деятельность, включающая земледелие, добычу полезных ископаемых, строительство дамб, организацию прудов и т. д., вносит свои коррективы в перераспределение наносов и их доставку к замыкающему створу системы. Коэффициент доставки наносов не превышает 1 %.

Таким образом, функционирование бассейна в условиях современного тектонического опускания Кудинской синеклизы, интенсивного хозяйственного освоения и слабо выраженного отрицательного тренда стока наносов вызывает усиленную аккумуляцию вещества в бассейне и в целом выравнивание рельефа.

Работа выполнена в рамках интеграционной программы Иркутского научного центра СО РАН (0341–2017–0001) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (17–29–05064).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.** Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. — 2004. — № 14. — С. 7–32.
2. **Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.** Структурный анализ типов функционирования и эволюции речных бассейнов // Гидрология и геоморфология речных систем. — Иркутск: Изд-во СО РАН, 1997. — С. 13–23.
3. **Алексеевский Н.И., Чалов Р.С.** Движение наносов и русловые процессы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 170 с.
4. **Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф.** Бассейн горной реки и экзогенные процессы в его пределах (результаты стационарных исследований). — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. — 186 с.
5. **Голосов В.Н.** Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. — М.: Геос, 2006. — 296 с.
6. **Корытный Л.М.** Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 5–16.
7. **Chorley R.J., Kennedy B.A.** Physical Geography: a Systems Approach. — London: Prentice-Hall, 1971. — 320 p.
8. **8th International Conference (IAG) on Geomorphology «Geomorphology and Sustainability».** — Paris: Abstracts volume, 2013. — Vol. 1–2. — 1209 p.
9. **Медведева Р.А., Голосов В.Н., Ермолаев О.П.** Пространственно-временная оценка овражной эрозии в зоне интенсивного земледелия европейской части России // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 3. — С. 29–37.
10. **Маккавеев Н.И.** Русло реки и эрозия в ее бассейне. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 346 с.
11. **Дедков А.П., Мозжерин В.И., Ступишин А.В., Трофимов А.М.** Климатическая геоморфология денудационных равнин. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. — 224 с.
12. **Баженова О.И., Мартынова Г.Н.** Реакция степных и лесостепных морфодинамических систем на современное изменение климата // География и природ. ресурсы. — 2000. — № 4. — С. 23–32.

13. **Чалов Р.С.** Эрозионно-аккумулятивные процессы и эрозионно-русловые системы (ЭРС): основные понятия, структура, механизмы функционирования // Экология эрозионно-русловых систем России. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. — С. 8–15.
14. **Мац В.Д., Ефимова И.М., Кульчицкий А.А.** Древние долины Западного Прибайкалья (История формирования) // Геоморфология. — 2010. — № 2. — С. 91–101.
15. **Баженова О.И., Мартыанова Г.Н.** Оценка изменений геокриологических условий субаридных районов Сибири при современном потеплении климата // География и природ. ресурсы. — 2003. — № 4. — С. 51–58.
16. **Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А.** Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1997. — 208 с.
17. **Кичигина Н.В.** Динамика характеристик стока рек бассейна Ангары на фоне региональных климатических изменений // География и природ. ресурсы. — 2010. — № 2. — С. 69–74.
18. **Загорюлько Н.А.** Особенности основного ионного состава поверхностных вод бассейна р. Куды // Вестн. Ирк. техн. ун-та. — 2014. — № 2 (85). — С. 61–67.
19. **Лещиков Ф.Н.** Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. — Новосибирск: Наука, 1978. — 136 с.
20. **Угланов И.Н., Бояркин В.М., Иванов И.Н., Филипова С.А.** Природно-мелиоративные условия лесостепных районов Восточной Сибири. — Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 1990. — 160 с.
21. **Баженова О.И., Тюменцева Е.М., Тухта С.А.** Экстремальные фазы денудации и вопросы геоморфологической безопасности Верхнего Приангарья // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 3. — С. 118–129.
22. **Тухта С.А.** Количественная оценка интенсивности ливневого смыва почв в бассейне р. Куды (Лено-Ангарская лесостепь) // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 4. — С. 94–104.
23. **Рыжов Ю.В.** Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. — 180 с.
24. **Бычков В.И.** Линейная эрозия в северной части Усть-Ордынского Бурятского национального округа // Изв. СО АН СССР. — 1961. — № 3. — С. 90–97.
25. **Опекунова М.Ю., Тухта С.А.** Пойменно-русловые комплексы реки Куды (Верхнее Приангарье) // Вестн. Бурят. ун-та. — 2017. — № 4. — С. 107–113.

Поступила в редакцию 25.05.2018

После доработки 25.05.2018

Принята к публикации 27.12.2018