

УДК 551.328:556.53(571.53)(045)

*О.В. Безгодова***НАЛЕДНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА РЕКИ ИРКУТ**

В статье рассмотрены наледные образования малых рек верховьев бассейна р. Иркут. На основе данных полевых исследований за 2021-2022 гг., анализа картографического материала и космических снимков получены морфометрические и морфологические характеристики наледей, создана и проанализирована карта-схема наледных образований, выявлены особенности наледных процессов и их влияние на рельеф малых рек. Установлено, что наиболее протяженные и пологие по углам наклона наледи приурочены к району массива Мунку-Сардык, наиболее крутые наледи – к горному узлу Нуху-Дабан и Тункинским Гольцам, коэффициенты наледности рек варьируют от низких до средних значений. Основная роль наледных образований состоит в преобразовании рельефа днищ и склонов долин малых рек через эрозионно-аккумулятивные (глубинная, боковая эрозия и формирование аллювиально-наледных террас) и криогенные процессы (подготовка рыхлого материала).

Ключевые слова: бассейн р. Иркут, малые реки, морфометрический анализ, наледные образования.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-344-354

Наледные образования на малых реках способны оказывать влияние на подземный и речной сток, аккумулируя объемы подземных и поверхностных вод в виде льда, что является дополнительным источником питания рек в теплый период года. Гидрологическая и гидрогеологическая роль наледей проявляется в виде изменения стока воды и наносов, расходов и уровня воды в продольном сечении, а также в изменении морфологии днища и склонов долин малых рек, которые являются наиболее чувствительным звеном во всей речной сети. Деятельность наледей способствует изменению состава и строению рыхлых горных пород, воздействует на микроклимат и растительный покров речных долин [1]. Изучение наледных образований необходимо в целях мониторинга экологического состояния русел и долин малых рек, установки динамики мерзлотно-гидрогеологических, геоморфологических и тектонических процессов.

В настоящее время исследования наледных образований бассейна р. Иркут проводятся исключительно в районе массива Мунку-Сардык [2; 3], тогда как на других территориях подобные изыскания не проводились. Цель данного исследования – анализ морфометрических особенностей наледных образований в пределах малых рек верховья р. Иркут. Автором решены следующие задачи: 1) получить морфометрические и морфологические характеристики наледных образований; 2) создать и проанализировать карту-схему наледных образований; 3) выявить особенности наледных процессов и оценить их влияние на рельеф малых рек.

Бассейны малых рек верховья р. Иркут (кроме района массива Мунку-Сардык), выступающие в качестве объекта исследования, характеризуются низкой изученностью геоморфологических и морфометрических параметров. Специфика геолого-геоморфологического, тектонического и морфологического строения, а также амплитуда абсолютных высот речных бассейнов повышают интерес к исследованию данной территории (разнообразие геодинамических обстановок в пределах небольшой площади).

Объект и методы исследований

Изучаемые малые водотоки и их наледные образования расположены в пределах горного узла Нуху-Дабан (южная часть Окинского плоскогорья), массива Мунку-Сардык и Тункинских Гольцов, общая площадь территории 80 км² (рис. 1). Абсолютные высоты земной поверхности варьируют от 1550 м в районе наледи Антонова до 2950 м в пределах наиболее высокогорной части (массив Мунку-Сардык). Крупнейший бассейн – р. Белый Иркут площадью 57 км², протяженностью 10 км с притоками Мугувек (5 км) и Средний Иркут (12 км). Автором рассмотрена только та часть бассейна, для которой характерны наледные образования. Далее идет бассейн р. Бугувек (8,4 км²), протяженность реки 7 км.

Все малые реки принадлежат бассейну Иркуты, общими факторами формирования долин и наледных образований являются: тектоническое и геологическое строение территории – наличие

крупного (Мондинского) и средней активности тектонических разломов [4], сильно тектонизированных пород субширотного и северо-западного простирания разломов, региональных несогласий залегания пород (терригенно-карбонатно-вулканогенный комплекс) [5]; следы ледниковой деятельности (аккумулятивные и эрозионные формы); преобладание атмосферных осадков в питании малых рек (максимум осадков на теплый период – до 70 %); наличие сплошной многолетней мерзлоты.



Рис. 1. Географическое положение территории исследования. Снимок Maxar Technologies 2021

По данным метеостанции Ильчир, расположенной на высоте 2083 м над уровнем моря, в пределах горного узла Нуху-Дабан и соседней территории Тункинских Гольцов температуры отличаются значительными суточными и годовыми колебаниями, средняя температура зимой $-23,8^{\circ}\text{C}$ (минимум в январе $-20,9^{\circ}\text{C}$), летом $+11,8^{\circ}\text{C}$ (максимум в июле $+10,1^{\circ}\text{C}$), среднегодовая температура $-6,1^{\circ}\text{C}$ [6]. За год выпадает 467 мм осадков, на теплый период приходится 85–90 % от общей суммы. Максимум приходится на июль – 122 мм, минимум на январь – 5 мм [6].

Наиболее высокие средние температуры для массива Мунку-Сардык наблюдаются в июле ($+9^{\circ}\text{C}$ на вершине г. Мунку-Сардык до $+11^{\circ}\text{C}$ к стрелке Иркуты), самые низкие температуры отмечаются в январе $-17-18^{\circ}\text{C}$ [7]. Безморозный период на высотах более 2000 м отмечается в июле, на более низких высотах поздние заморозки бывают в июне, а самые ранние – в августе. Наибольшее количество осадков выпадает в июле – 80–120 мм, а за все летние месяцы (июнь-август) сумма осадков может составлять 100–300 мм (60–70 % годовой суммы) [7].

На изучаемой территории населенные пункты отсутствуют, но район является центром притяжения туристов и спортсменов в целях рекреации, в том числе используя наледи для ледолазания, туристических троп и забросок (реки Белый Иркут, Бугувек, Мугувек, Средний Иркут).

Рельефообразующая и геологическая роль наледей отражена в работах В.Р. Алексеева [8], Н.Н. Романовского [9; 10], А.П. Горбунова [11; 12], М.Л. Маркова и др. [1]. При описании особенностей геоморфологического, тектонического и геологического строения южной части Окинского плоскогорья и массива Мунку-Сардык использовались труды С.Н. Коваленко, Э.В. Мункоевой [2] и В.Б. Выркина [13].

В основе работы лежат полевые исследования наледных образований, проведенные автором в 2021–2022 гг. Проведены рекогносцировочные маршруты от истоков до устьев рек Белый Иркут, Мугувек, Грот, Сальвадор, Неописуемая и др., с помощью дальномерной съемки собраны морфометрические показатели наледных образований и долинных форм рельефа малых рек, зафиксированы

наиболее динамичные участки проявления геоморфологических процессов. Дополнительные данные получены с помощью картографического материала в программе SAS Planet и дешифрирования космических снимков Maxar Technologies за 2021 г. (длина, площади бассейнов, порядки водотоков, абсолютные высоты и т. д.) (табл. 1). Кодирование водотоков выполнено методом Стралера-Философова, где за временный или постоянный водоток 1-го порядка принимается долина, в которую не впадает другой водоток. При слиянии двух водотоков 1-го порядка образуется водоток 2-го порядка и т. д. Оформление данных проводилось в программе ArcGIS 10 (ESRI Inc.).

Согласно классификации наледей по источникам питания Н.Н. Романовского [10] наледные образования изучаемой территории относятся к гетерогенному типу (смешанных поверхностных и подземных вод), где ведущими в формировании наледей являются грунтовые воды.

Результаты и их обсуждение

Образование наледей связано с отставанием скоростей разгрузки грунтовых вод, накопленных в теплый период года, от скорости промерзания подземных и поверхностных водотоков. Эрозионный характер рельефа южной части Окинского плоскогорья, западной части Тункинских Гольцов и высокогорного массива Мунку-Сардык способствует возникновению наледей типа грунтовых вод сезонно-талого слоя, дренируемых местной эрозионной сетью. Образование таких наледей связано с разгрузкой грунтовых вод экзогенной трещиноватостью и аэрацией коренных горных пород в пределах сезонного талого слоя на склонах и днищах малых рек. С.Н. Коваленко установил [2], что в пределах массива Мунку-Сардык развитие наледных образований связано с достижением врезам эрозионных долин цоколя ледниковых отложений древних оледенений и почти окончательным стаиванием на этой стадии развития рельефа подземного льда погребенных ледников. В тех же долинах рек, где глубинная эрозия не достигает цоколя моренных отложений, наледи не образуются (долины рек Жохой, Контрастов).

Часто точка образования наледи представляет собой источник (ключ, родник) в эрозионном врезе, морене или коллювиальном шлейфе (открытая разгрузка). По ступенчатому профилю днища реки происходит намерзание вышедших на поверхность грунтовых вод, которые затем намерзают в виде ступеней (некоторые до высоты 30 м) и достигают своего пика к началу марта, когда дневные и ночные температуры еще позволяют намерзать новому слою льда. Далее под воздействием солнечных лучей и при увеличении суточных температур происходит деградация наледи. На склонах южной экспозиции наледи исчезают уже в начале-середине мая, на склонах северной экспозиции наледь может пережить теплый сезон и просуществовать вплоть до холодного.

При этом наледь, образуясь год за годом, изменяет морфологию днища и склонов долин малых рек через криогенные и эрозионно-аккумулятивные процессы [8], влияя на русловые процессы и транспорт наносов. Эрозионно-аккумулятивные процессы проявляются в виде боковой и глубинной эрозии. В долине р. Белый Иркут отмечено воздействие наледи на процесс боковой и глубинной эрозии, которое заключается в отклонении водного потока в сторону берега без наледного покрова, где в результате происходит поперечное расширение долины, а на участке с выходом коренных пород – глубинный врез (до 38 см). Выше по течению от устья р. Ледяной на р. Белый Иркут отмечен участок наледной многорукавности, который имеет вид расширенной долины. Здесь уменьшаются средние глубины и снижается продольный уклон водотока, происходит дробление основного русла на 3–5 рукавов. Такое явление отмечено только в районе массива Мунку-Сардык, тогда как в пределах склонов Тункинских Гольцов и горного узла Нуху-Дабан встречаются только ящикообразные долины со ступенчатым продольным профилем.

Криогенные процессы вызваны фазовыми переходами воды (вода–водяной пар–лёд), что вызывает усиление физического и химического выветривания прилегающих пород из-за снижения температуры (наледь имеет высокое альbedo, а также поглощает и рассеивает солнечную радиацию в верхнем слое) и увеличение их влажности. Это, в свою очередь, приводит к возникновению криогенных процессов (просадки, пучение и т. д.), которые способствуют разрыхлению, перемещению и выравниванию поверхности наледного участка [8]. Интенсивный вынос рыхлого материала характерен для всех изучаемых водотоков с наледями, при этом наиболее мелкая фракция отложений выносятся наледями горного узла Нуху-Дабан и Тункинских Гольцов с крутыми продольными профилями. Если долина сложена известковой породой, то мелкодисперсные взвешенные частицы встречаются внутри и на поверхности наледи в виде бежеватых и коричневатых натеков (наледи Сальвадор, Грот, Дембель).

Для удобства классификации изучаемые наледи разделены по геоморфологическим районам и крутизне углов наклона в пиковое развитие наледной поверхности (февраль–март). Выделено 10 небольших по протяженности (30-590 м) наледных образований в пределах резко-расчлененного денудационного рельефа горно-складчатого поднятия Тункинских Гольцов и средних эрозионно-денудационных гор южной части Окинского плоскогорья. В пределах массива Мунку-Сардык наледи образуют почти сплошной покров по рекам Средний и Белый Иркут, по рекам Бугувек и Мугувек имеют прерывистый характер. Полученные данные по углам наклона наледной поверхности позволили разделить наледи на группы (рис. 2).

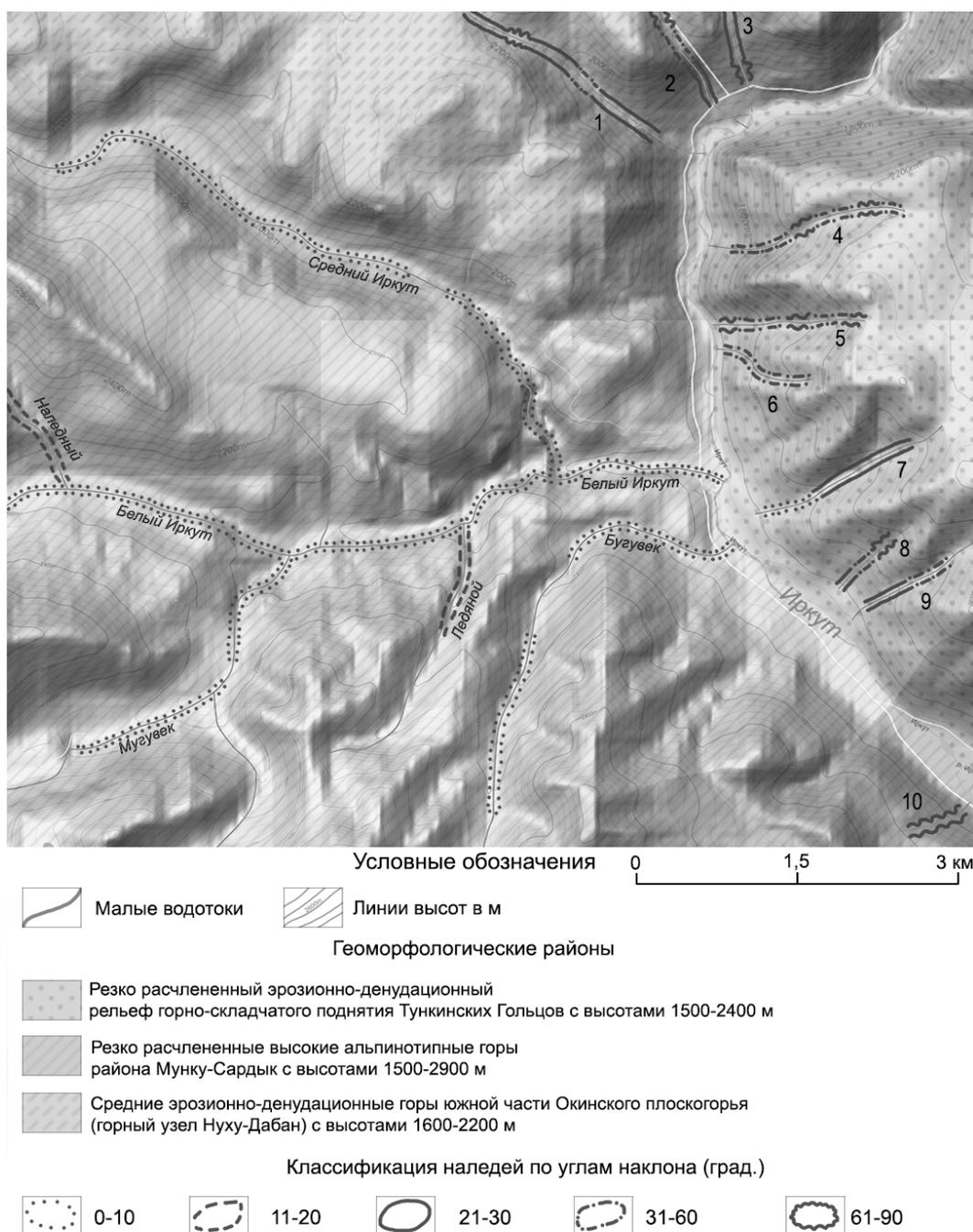


Рис. 2. Карта-схема наледных образований малых рек бассейна р. Иркут. Цифрами обозначены наледи: 1 – Дембель, 2 – Грот, 3 – Разминочная, 4 – Неописуемая, 5 – Палец, 6 – Заречная, 7 – Поворот, 8 – Сальвадор, 9 – Малый Сальвадор, 10 – Антонова

В целом наледи с крутизной поверхности $0\text{--}10^\circ$ выявлены в долинах малых рек с развитием широкопойменных участков (реки Белый Иркут, Средний Иркут, Бугувек, Мугувек), при глубинном усилении вреза с V-образными долинами углы наклона возрастают до 20° . Далее выделяются реки района горного узла Нуху-Дабан, где средняя крутизна поверхности участков наледей варьирует от 21 до 90° . Наиболее протяженные и крутые участки (вертикальные и даже с отрицательным углом наклона) расположены в пределах Тункинских Гольцов (наледь Сальвадор). Общая протяженность наледей изучаемой территории – $15,7$ км (на момент наблюдения за 2021–2022 гг.), в разные годы эта цифра меняется в зависимости от температурных условий и количества осадков за предшествующий теплый период. Максимальный размах абсолютных высот формирования наледей $1558\text{--}2230$ м. Рассмотрим наледи согласно геоморфологическим районам.

Для массива Мунку-Сардык характерно развитие протяженных и относительно пологих (до $15,6^\circ$) наледей. Они характерны для троговых долин рек 3-го и 4-го порядка (Мугувек, Бугувек, Средний Иркут, Белый Иркут). Со склонов долин на поверхность наледей поступают рыхлые коллювиальные и пролювиальные отложения, которые затем переносятся наледями вместе с речными отложениями, образуя аллювиально-наледные террасы.

Аллювиально-наледные террасы (рис. 3) формируются по краям пойм и состоят из несортированного мелкообломочного материала со средними и крупными валунами. Например, верхний уровень аллювиально-наледной террасы р. Белый Иркут в урочище Колено Белого Иркуты ($0\text{--}65$ см) состоит из слабоокатанных валунов (до 70 см) и дресвяно-щебнистого материала ($2\text{--}15$ см) с заполнителем из средне- и крупнозернистого песка. Наблюдается слабая слоистость. Нижний уровень ($66\text{--}120$ см) состоит из щебня ($2\text{--}12$ см) и слабоокатанного галечника (до 8 см) с крупнозернистым песчаным заполнителем. Слоистость не выражена.



Рис. 3. Двухуровневая аллювиально-наледная терраса р. Белый Иркут.
(Фото Безгодовой О.В., 23.04.2022)

Формирование наледных террас связано с деятельностью талых вод и промоин, которые способствуют переносу и аккумуляции рыхлых отложений на поверхность наледи. Наледь бронирует от эрозии весеннего паводка участок поймы, а после таяния наледи отложения остаются на подстилающей наледной поверхности. Это может служить индикатором распространения современной границы пойм малых рек. При этом скорость формирования аллювиально-наледных террас отстает от скорости выравнивания наледного рельефа [3].

В нижнем течении р. Мугувек на участке врезанного русла ширина наледного образования достигает 10,8 м и затем расширяется до 53 м в устье, образуя сплошной наледный покров в среднем течении р. Белый Иркут. Далее обширные наледи выявлены на участках с широкопойменным извилистым руслом Белого Иркут, где ширина наледного образования 23,2 м, мощность до 67 см. На правом берегу на протяжении 700 м расположена осыпь крутизной 36°, которая поставляет рыхлый материал на поверхность наледи. В следствии этого, ниже по течению высота аллювиально-наледных террас возрастает от 65–70 см до 130 см. На разветвленно-извилистых участках сплошность наледного покрова нарушается островами и осередками, наледь повторяет положение русловых разветвлений. Ширина наледных разветвлений 7–13 м, мощность уменьшается до 45–52 см. Если пойма напрямую сочленяется с коренными или цокольными террасами, то образование наледных террас не происходит.

Морфометрические показатели наледных образований

Название наледи	Протяженность, м	Абсолютная высота, м	Средняя крутизна, град.	Ширина долины, м	Тип долины	Порядок реки по Хортону [14]	Характеристика наледных ступеней
1. Дембель	340	1756–1983	26	300–500	Преимущественно V-образная	2	Встречаются участки (4 отрезка) ледовых ступеней крутизной 65–80°, протяженностью 15–30 м
2. Грот	495	1704–2105	30	200–400	Преимущественно V-образная с участками ящикообразного типа	2	Встречаются три ледовые ступени крутизной до 80°, протяженностью 4–20 м
3. Разминочная	565	1748–1962	24	300–600	V-образная	2	Одна ледовая ступень 70°, протяженностью 15 м
4. Неопикуемая	460	1797–1959	33	500–700	Ящикообразная	2	5 участков с крутизной льда 70–80°, общей протяженностью 62 м
5. Палец	556	1688–1943	40	500–780	Преимущественно V-образная с участками ящикообразного типа	2	Участки ступеней 6 м 70°, 5,8 м 78°, 4 м 70°, 7 м 80–85°, 25 м 75°, 5 м 73°, 5,6 м 85°
6. Заречная	200	1622–1813	33	250–300	V-образная	1	Участок ступени 12 м крутизной 80°
7. Поворот	270	1720–1900	27	600–1000	V-образная	2	–
8. Сальвадор	370	1559–1711	32	300–400	V-образная	1	Ступень высотой 27 м с крутизной до 90°, после нее наледь практически не образуется
9. Малый Сальвадор	590	1565–1890	25	400–800	V-образная	2	–
10. Антонова	30	1558–1583	85	50–100	V-образная	1	Максимальная крутизна 92° (отрицательный угол)

Водотоки 1-го и 2-го порядка – притоки Белого и Среднего Иркуты, из-за вреза в троговые долины нависают над реками более крупного порядка в устьях. Наледи повторяют поперечную форму днища и в устьевых частях образуют каскадные комплексы. Например, каскадный комплекс на р. Наледной возвышается над руслом р. Белый Иркут на 7,4 м. Коэффициенты наледности водотоков (отношение суммарной длины наледей к общей длине участка реки) распределяются следующим образом: Белый Иркут – 0,63, Средний Иркут – 0,41, Мугувек – 0,21, Бугувек – 0,28.

Наледи горного узла Нуху-Дабан и Тункинских Гольцов характерны для рек 1-го, 2-го порядка и рассмотрены вместе, где основные морфометрические и морфологические характеристики (протяженность, абсолютные высоты распространения, средняя крутизна, ширина долины, тип долины, порядок реки по Хортону, характеристика наледных ступеней) наледей представлены в таблице.



Рис. 4. Ящикообразная долина и наледные ступени р. Неописуемая.

Участок протяжённостью 26 м со ступенями крутизной до 70° (Фото Безгодовой О.В., 08.03.2022)

Наледные образования здесь имеют более низкую протяженность, чем у наледей массива Мунку-Сардык (средняя протяженность наледей 387 м), но при этом их крутизна достигает 90° (средняя 35,5°). Наледи не имеют сплошного покрытия, на пологих участках русла они полностью занимают днище долины и при переходе со ступени круто обрываются на следующую ступень каскадами или сплошными стенками-ледотоками. Форма речных долин преимущественно V-образная с участками ящикообразного типа (средняя ширина долин 340–660 м) (рис. 4). Для крутых склонов и для переходных участков наледных ступеней характерно развитие экзарационных стенок (рис. 5). Формирование аллювиально-наледных террас не характерно. Средние абсолютные высоты, для которых характерно развитие наледей – 1671–1885 м. На крутых стенках долин выявлены осыпные, обвальные процессы, отмечены следы схода небольших лавин (дополнительные источники рыхлого материала).

Днища долин малых рек горного узла Нуху-Дабан и Тункинских Гольцов неширокие (до 6,4–8,2 м), в теплое время ширина русла варьирует от 3,7 м до 4,5 м. В холодное время года наледь полностью занимает днище речной долины, при этом на выпуклых формах донного рельефа образуются наледные ступени, например, для р. Грот ширина таких ступеней составляет 5,5 м, высота 1,3 м с крутизной 21,9° на одном из самых пологих участков. Такие участки ограничиваются ледовыми стенками высотой от 3 до 30 м, основание которых имеет мощность до 10 м (р. Сальвадор). При выходе малых рек к Иркуту долины расширяются и заканчиваются конусами выноса, где речным водам проще просочиться в рыхлые отложения. Ширина наледей на таких участках не более 2 м, а мощность не более 35 см.

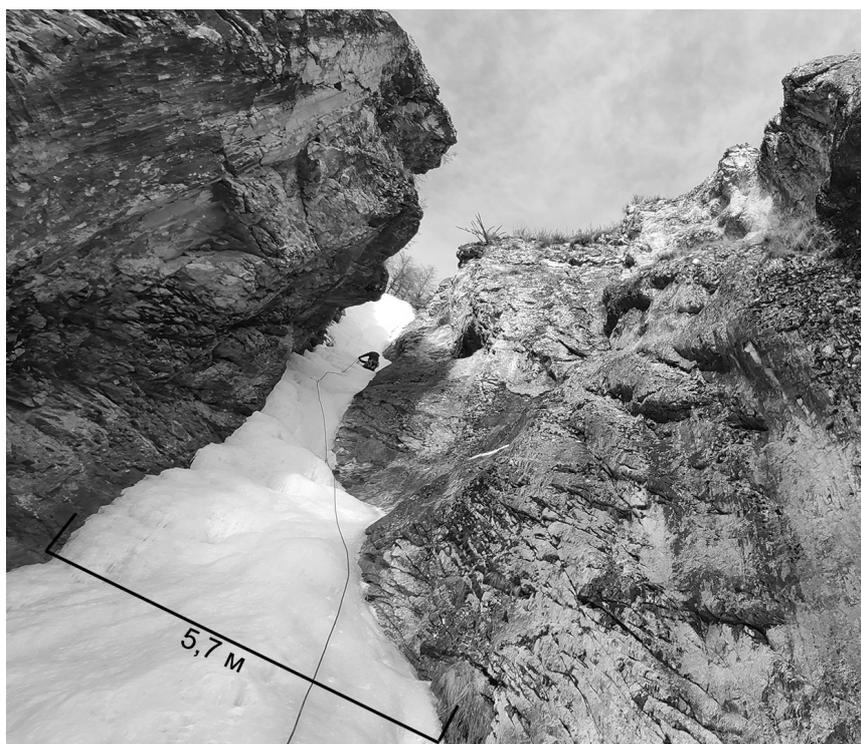


Рис. 5. Наледные ступени и экзарационные стенки р. Грот.
Участок протяжённостью 30 м, крутизна до 80° (Фото Безгодовой О.В., 03.12.2021)

В долине р. Сальвадор грунтовых вод достаточно для формирования широкой наледной стенки (самая крупная в районе исследования) высотой 29,3 м, шириной в пиковое состояние от 17,5 м до 6,5 м (от основания до верхней точки формирования стенки). Наледная стенка Сальвадора разделяется на три части, при этом наледь здесь формируется за счет грунтовых вод, выходящих выше по течению основного русла реки (главная стенка), а две другие части – за счет грунтовых вод, выдавливаемых из скальных пород бортов речной долины. Наледь Сальвадор с ноября по март 2021–2022 гг. увеличила свою площадь в 2,5 раза. Река при выходе делает резкий врез в террасу Иркута, обрываясь на пойму уступом в 13 м. Здесь в днище наледь не формируется, встречаются маломощные участки натечного льда.

Замеры отмыва пород наледями и тальми водами по следам на бортах склонов долин и днищ малых рек показали, что высота уровня отмыва для участков с пологой поверхностью составляет 35–50 см, а в местах развития наледных комплексов ступеней – до 90 см (наледы Палец, Неописуемая, Грот, Сальвадор). Высота отмыва фиксируется высветлением пород, а также насечками, появившимися из-за механического трения переносимых рыхлых отложений вдоль бортов долин.

В целом наледы районов горного узла Нуху-Дабан и Тункинских Гольцов имеют схожие морфологические и морфометрические характеристики строения днищ речных долин и наледных образований, несмотря на разницу в расчленении рельефа и абсолютных высот. Коэффициенты наледности водотоков варьируют от 0,11 до 0,51, среднее значение 0,25.

В целом, роль наледей в развитии морфологии малых речных долин заключается в переработке рыхлого материала днищ и склонов, их переносе и аккумуляции в виде наледных террас. Наледные образования оказывают большое влияние на форму долин, сглаживая острые скальные углы и формируя экзарационные стенки. Таяние наледей северных экспозиций происходит постепенно в теплое время с пиком в июле–августе, когда выпадает до 70–90 % годовых осадков в виде ливней, что усиливает сток малых рек и процессы глубинной эрозии. Наледи способны перенаправлять речные воды, тем самым снижая эрозионную деятельность в одном месте и усиливая в другом.

Среди экзогенных (геоморфологических) процессов в районе исследования большое влияние на деятельность наледей оказывают обвальные и осыпные процессы из группы гравитационно-склоновых; флювиальные (глубинная и боковая эрозия) – как фактор формирования днищ речных долин, форм руслового рельефа, способных стать препятствием для образования наледного тела;

криогенные и криогенно-склоновые – в создании водоупора, снижающего степень инфильтрации. Экзогенные процессы и наледообразование взаимно влияют друг на друга, например, в районе наледи Палец гравитационно-склоновые процессы (обвальный) привели к блокированию речного русла, в результате чего дальше этой точки процесс образования наледей практически не наблюдается. И наоборот, наледи усиливают мерзлотное выветривание, из-за чего в склоновые процессы вовлекается дополнительный рыхлый материал.

Заключение

Итак, характерной особенностью наледей верховьев р. Иркут является распространение в среднегорных и высокогорных районах, особенностями которых является наличие сейсмической и тектонической активности (создают трещиноватость пород). Эрозионная расчлененность рельефа вместе с глубоким врезом малых рек и наличием сплошной мерзлоты способствуют возникновению наледей гетерогенного типа. Коэффициенты наледности водотоков имеют низкие и средние значения (от 0,11 до 0,51), так как наибольшие значения длины водотоков дают реки 1-го и 2-го порядка, в пределах которых наледи не получают широкого развития. Чаще всего обширные и протяженные наледи с уклонами до 20° занимают широкопойменные или врезанные переходные на широкопойменные участки рек, которые сохраняются до начала-середины мая. Наледи горного узла Нуху-Дабан и Тункинких Гольцов меньше по протяженности, но имеют крутые углы наклона и наличие вертикальных ледовых стенок.

Роль наледей в преобразовании рельефа долин малых рек значительна и связана с подготовкой, переносом и аккумуляцией отложений (формирование аллювиально-наледных террас), выравниванием рельефа. Таким образом, на формирование морфологии долин и форм руслового рельефа, на динамику русловых процессов малых рек оказывают влияние не только тектонический, геолого-геоморфологический, климатический факторы, но и наледообразование, которое вызвано сочетанием природных (геодинамических) особенностей территории. В дальнейшем исследования наледных образований необходимы для изучения физических закономерностей развития наледей во времени (годовой, многолетний циклы) и расчета объема наледей и наледного стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков М.Л., Василенко Н.Г., Гуревич Е.В. Наледи зоны БАМ: Экспедиционные исследования // Нестор-История. СПб, 2016. 320 с.
2. Коваленко С.Н., Мункоева Э.В. Типы горного рельефа и происхождение наледей в районе горы Мунку-Сардык // Вестник кафедры географии ВСГАО. 2013. № 3-4 (8). С. 24–37.
3. Коваленко С.Н., Лихтарович Э.В. Геологическая деятельность наледей в районе горы Мунку-Сардык (Восточный Саян) // Геология и окружающая среда. 2021. Т. 1. № 1. С. 74–86.
4. Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7, № 3. С. 407–434.
5. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000 Серия Восточно-Саянская. Лист М-47-VI. Объяснительная записка / Составитель В.П. Арсентьев; ред. Н.А. Флоренсов. М.: Недра, 1969. 74 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Иркутская область и западная часть Бурятской АССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып 22. 605 с.
7. Коваленко С.Н., Мункоева Э.В., Зацепина Н.А. Климат района Мунку-Сардык (Восточный Саян) // Вестник кафедры географии ВСГАО. 2013. № 1-2. С. 15–23.
8. Алексеев В.Р. Наледи как фактор долинного морфолитогенеза // Региональная геоморфология Сибири / ИГиСДВ СО АН СССР. Иркутск, 1973. С. 89–134.
9. Романовский Н.Н. О геологической деятельности наледей // Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ. 1973. Выпуск XIII. С. 66–89.
10. Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны. М: МГУ, 1983. 231 с.
11. Горбунов А.П., Ермолин Е.Д. Подземные льды гор Средней Азии // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. 1981. Вып. 41. С. 82–90.
12. Горбунов А.П. Подземные льды и наледи центральной Азии: география и динамика // Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Материалы Международного Семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии» (Алматы, Казахстан 28-30 ноября 2006). Алматы, 2007. С. 259–267.
13. Выркин В.Б., Масютина Ю.А. Геоморфологическое районирование Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2017. Т.19. С. 32–47.

14. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology // Geological Society of America Bulletin. 1945. Vol. 56. No. 3. Pp. 275–370. doi: 10.1130/0016-7606(1945)56

Поступила в редакцию 09.06.2022

Безгодова Ольга Витальевна, аспирант 2 года лаборатории геоморфологии
ФГБУН «Институт Географии СО РАН»
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru

O.V. Bezgodova

ICE FORMATIONS WITHIN THE COURSES OF SMALL RIVERS OF THE IRKUT RIVER BASIN

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-344-354

The article discusses the ice formations of small rivers in the upper reaches of the Irkut river basin. Morphometric and morphological characteristics of icings were obtained, the map-scheme of ice formations was created and analyzed, features of icing processes and their influence on the relief of small rivers were identified using data of field research for 2021-2022, analysis of cartographic material and satellite images. It has been established that the longest and gentlest icings are confined to the area of the Munku-Sardyk massif, the steepest icings – to the Nuhu-Daban and Tunkinsky Goltsy mountains, the icing coefficients of the rivers vary from low to medium values. The main role of ice formations is to transform the relief of the bottoms and slopes of small river valleys through erosive-accumulative (deep, lateral erosion and the formation of alluvial-iced terraces) and cryogenic processes (preparation of loose material).

Keywords: ice formations, Irkut river basin, morphometric analysis, small rivers.

REFERENCES

1. Markov M.L., Vasilenko N.G., Gurevich E.V. *Naledi zony BAM: Ekspeditsionnye issledovaniya* [Ice of the BAM zone: Expeditionary research], in *Nestor-Istoriya*, SPb, 2016, 320 p. (in Russ.).
2. Kovalenko S.N., Munkoeva Je.V. *Tipy gornogo rel'efa i proiskhozhdenie naledey v rayone gory Munku-Sardyk* [Types of mountainous relief and the origin of icing in the region of Mount Munku-Sardyk], in *Vestnik kafedry geografii Vost.-Sib. gos. akademii obrazovaniya*, 2013, no. 3–4 (8), pp. 24–37 (in Russ.).
3. Kovalenko S.N., Likhtarovich E.V. *Geologicheskaya deyatel'nost' naledey v rayone gory Munku-Sardyk (Vostochnyy Sayan)* [Geological activity of icings in the region of Mount Munku-Sardyk (Eastern Sayan)], in *Geologiya i okruzhayushchaya sreda*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 74–86 (in Russ.).
4. Lunina O.V. [The digital map of the pliocene-quadernary crustal faults in the Southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia], in *Geodinamika i tektonofizika*, 2016, vol. 7, no. 3, pp. 407–434 (in Russ.).
5. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000 Seriya Vostochno-Sayanskaya. List M-47-VI. Ob"yasnitel'naya zapiska* [Geological map of the USSR, scale 1:200000 East Sayan series. Sheet M-47-VI. Explanatory note], Compiled by V.P. Arsentiev; Florensov N.A. (ed). Moscow: Nedra, 1969, 74 p. (in Russ.).
6. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Irkutskaya oblast' i zapadnaya chast' Buryatskoy ASSR* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Irkutsk region and the western part of the Buryat ASSR], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, Ser. 3, Ch. 1–6, vol. 22, 605 p. (in Russ.).
7. Kovalenko S.N., Munkoeva Je.V., Zatssepina N.A. *Klimat rayona Munku-Sardyk (Vostochnyy Sayan)* [The climate of the Munku-Sardyk region (Eastern Sayan)], in *Vestnik kafedry geografii Vost.-Sib. gos. akademii obrazovaniya*, 2013, no. 1-2, pp. 15–23 (in Russ.).
8. Alekseev V.R. *Naledi kak faktor dolinnogo morfolitogeneza* [Ice as a factor of valley morpholithogenesis], in *Regional'naya geomorfologiya Sibiri, IGSiDV SO AN SSSR*. Irkutsk, 1973, pp. 89–134 (in Russ.).
9. Romanovskiy N.N. *O geologicheskoy deyatel'nosti naledey* [On the geological activity of ice floes], in *Merzlotnye issledovaniya*. Moscow: MGU Publ., 1973, iss. XIII, pp. 66–89 (in Russ.).
10. Romanovskiy N.N. *Podzemnye vody kriolitozony* [Groundwater permafrost], Moscow: MGU Publ., 1983, 231 p. (in Russ.).
11. Gorbunov A.P., Ermolin E.D. *Podzemnye l'dy gor Sredney Azii* [Underground ice of the mountains of Central Asia], in *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. Khronika obsuzhdeniya*, 1981, iss. 41, pp. 82–90 (in Russ.).
12. Gorbunov A.P. *Podzemnye l'dy i naledi tsentral'noy Azii: geografiya i dinamika* [Underground ice and icings of Central Asia: geography and dynamics], in *Snezhno-ledovye i vodnye resursy vysokikh gor Azii. Mater. Mezhd.*

Seminara "Otsenka snezhno-ledovykh i vodnykh resursov Azii" (Almaty, Kazakhstan, November 28–30, 2006), 2007, pp. 259–267 (in Russ.).

13. Vyrkin V.B., Masyutina Ju.A. [Geomorphological regionalization of Okinskoe highland (Eastern Sayan)], in *Izvestiya Irkutskogo Gos. Univ. Ser. Nauki o Zemle* [*Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*], 2017, vol. 19, pp. 32–47 (in Russ.).
14. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology, in *Geological Society of America Bulletin*, 1945, vol. 56, no. 3, pp. 275–370. doi: 10.1130/0016-7606(1945)56.

Received 09.06.2022

Bezgodova O.V., second year postgraduate student of Laboratory of Geomorphology
Institute of Geography SB RAS
Ulan-Batorskaya st., 1, Irkutsk, Russia, 664033
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru