

# РАЗДЕЛ I. ГЕОЛОГИЯ. СЕЙСМИКА. ГИС [GEOLOGY. SEISMOLOGY. GIS]

УДК: 551.43

DOI: 10.24411/2658-4441-2020-10030

**С.Г. ПЛАТОНОВА<sup>1</sup>, В.В. СКРИПКО<sup>1,2</sup>, Ч. ЛХАГВАСУРЭН<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)*

<sup>2</sup> *Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)*

<sup>3</sup> *Ховдский государственный университет (Ховд, Монголия)*

## **РАЗВИТИЕ РЕЛЬЕФА ВЫСОКОГОРНОГО МАССИВА ТАВЫН-БОГДО-УУЛ**

Развитие поверхности в условиях современного и плейстоценовых оледенений определили морфологическое разнообразие форм горного массива Тавын-Богдо-уул. В статье приводятся современные характеристики форм, образованных крупными ледниками, а также описание морфологии комплекса крупного каменного глетчера в долине р. Цагаан-Ус. Наряду с нивально-гляциальными и склоновыми процессами на формирование не только морфоструктуры, но и морфоскульптурных особенностей поверхности высокогорья горного массива большое влияние оказывают тектонические и сейсмические процессы. Они образуют на склонах хребтов и днищах внутригорных котловин мезо- и микроформы III-го порядка (зияющие трещины, фасеты, эскарпы, обвалы и оползни). Пространственная ориентировка сейсмогенных форм (северо-западная, субширотная и северо-восточная) отражает главные направления общего структурного плана горного массива.

*Ключевые слова:* высокогорье, типы рельефа, ледниковый рельеф, склоновые процессы, тектонические/сейсмогенные формы, Тавын-Богдо-уул, Монголия.

Рис. 3. Библ. 13. назв. С. 7–13.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН: Проект № АААА-А17-117041210243-8*

**S.G. PLATONOVA<sup>1</sup>, V.V. SKRIPKO<sup>1,2</sup>, Ч. LHAGVASUREN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institute for Water and Environmental problems SB RAS (Barnaul, Russia)*

<sup>2</sup> *Altai State University (Barnaul, Russia)*

<sup>3</sup> *Khovd university (Khovd, Mongolia)*

## **RELIEF EVOLUTION OF TAVYN BOGD MOUNTAIN**

Relief evolution in the conditions of the modern and Pleistocene glaciations determined the morphological diversity of the Tavyn Bogd Mountain. This paper considers present-day landforms created glaciers, and morphology analysis of the large rock glacier complex in the Tsagan-Us river basin. Tectonic and seismic processes, together with nival-glacial and slope processes, formed not only morphostructure, but also morphosculpture forms on the Tavyn Bogd Mountain. Tectonic and seismic processes result in the third-order meso- and microforms shaping on the ridge slopes and bottoms of intermountain basins (open cracks, tectonic facets, escarps, rockfalls and landslides). The direction of seismic forms (northwest, latitudinal and northeast) coincides with the main directions of the tectonic structure of the mountain.

*Keywords:* high mountain region, relief types, glacial landforms, slope processes, tectonic and seismic forms, Tavyn Bogd Mountain, Mongolia.

Figures 3. References 13. P. 7–14.

**ВВЕДЕНИЕ.** Исследование рельефообразующих процессов высокогорных территорий является частью решения проблемы прогнозирования изменений природной среды горных регионов под влиянием климатических изменений и антропогенного воздействия. Высокогорный массив Тавын-Богдо-уул (иначе Таван-Богдо-Ола) (высшая точка — гора Куйтэн, высота 4374 м) расположен в центре Алтайской горной страны на стыке хребтов Горного (Русского) и Монгольского Алтая, на границе трёх государств: России, Монголии и Китая. Массив характеризуется значительным разнообразием ландшафтов, и несущественной антропогенной нагрузкой и освоённостью. Здесь сосредоточены крупнейшие ледники Алтая, участвующие в формировании стока таких рек, как Иртыш, Катунь и Кобдо-Гол. Начало исследования массива связано с именами В.В. Сапожникова (1911, 1949) и братьев Б.В. и М.В. Троновых (Тронов Б., 1925; Тронов М., 1949).

В силу своего трансграничного положения горный массив характеризуется крайне неравномерной изучённостью. Наименее исследованным является его юго-восточный макросклон, расположенный в Монголии. Хотя именно здесь сосредоточены самые крупные ледники Тавын-Богдо-уул (Потанина и Александры), и берут своё начало реки бассейна крупнейшей реки Западной Монголии — Кобдо-Гол: Цагаан-Гол, Цагаан-Ус-Гол (далее — Цагаан-Ус), Ойгор-Гол (рис. 1). Целью настоящей работы является выявление роли различных процессов в формировании современной морфоскульптуры юго-восточного макросклона массива Тавын-Богдо-уул и изучение его морфологических особенностей.

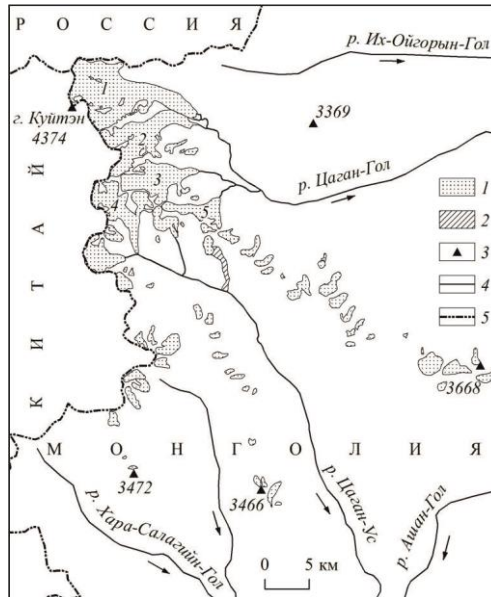


Рисунок 1. Район юго-восточного макросклона массива Тавын-Богдо-уул

1 — ледники: Потанина (1), Александры (2), Гранё (3), Козлова (4), Крылова (5); 2 — каменный глетчер; 3 — вершины горных хребтов; 4 — реки; 5 — государственные границы.

**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕЛЬЕФА ЮГО-ВОСТОЧНОГО МАКРОСКЛОНА МАССИВА ТАВЫН-БОГДО-УУЛ.** На территории Тавын-Богдо-уул по морфогенетическому признаку выделяются денудационно-тектонический (I) и аккумулятивный (II) типы рельефа (Дашзэвэг, 2005). Тектонико-денудационный тип (I) имеет два подтипа: высокогорный альпийский со следами древнего оледенения (I.1) и рельеф плоско- и куполовершинных высоких гор с широко развитыми древними поверхностями выравнивания и следами древнего оледенения (I.2).

Высокогорный альпийский тип (I.1) выделяется на высотах свыше 3500 м, где горные хребты сильно видоизменены деятельностью разновозрастных ледников. Типичными формами рельефа здесь являются островершинные пики и карлинги, кары, троговые долины с озёрными ваннами, моренные холмы и гряды, каменные глетчеры, обвалы, осыпи, мерзлотно-солифлюкционные образования. Развитие современных денудационных процессов происходит в нивально-гляциальных условиях (Рельеф..., 1988; Монгольская..., 1990).

Рельеф плоско- и куполовершинных высоких гор с широко развитыми древними поверхностями выравнивания и следами древнего оледенения (I.2) развит на высоте 2500–3500 м. Относительное превышение между вершинами хребтов и днищами рек составляет 800–1000 м. В горах отчётливо сохранены фрагменты мел-палеогеновой поверхности выравнивания шириной до 1–2 км. Вершины этих гор плоские или слегка выпуклые, склоны значительно эродированы и труднодоступны. В истоках рек наблюдаются кары, ледники, флювиогляциальные скопления, конечные и боковые морены.

Аккумулятивный тип рельефа (II) на рассматриваемой территории имеет подчинённое значение и встречается в пределах озёрных котловин и внутригорных речных долин с делювиально-пролювиальными шлейфами, аллювиальными террасами, моренными и флювиогляциальными образованиями.

**ОЛЕДЕНЕНИЯ И РЕЛЬЕФ.** Важную роль в формировании морфоскульптуры массива Тавын-Богдо-уул играет оледенение. Максимальное его распространение, охватывавшее не только высокогорье, но и среднегорную зону, относится к среднему плейстоцену. Морфологические следы деятельности среднеплейстоценовых ледников в периферийных частях площади распространения уничтожены или сильно изменены другими экзогенными процессами в течение продолжительного постледникового периода (Рельеф..., 1988). Граница максимального распространения позднеплейстоценовых ледников маркирована хорошо выраженными на поверхности конечными моренами.

Современный высокогорный альпийский тип рельефа горного массива был сформирован в позднеплейстоценовое время, и с тех пор его развитие во многом определяется нивально-гляциальными процессами. По предварительным оценкам, общее число ледников на 2008–2010 гг. в бассейне р. Цагаан-Гол составляло 26, в бассейне р. Цагаан-Ус — 37; в 1970-х годах их было, соответственно, 20 и 27 (Галахов, Редькин, 2001). Общая площадь ледников в 2013 г. составила около 67 км<sup>2</sup> в бассейне р. Цагаан-Гол и 30 км<sup>2</sup> — в бассейне р. Цагаан-Ус (Сыромятина и др., 2014).

Один из наименее изученных в монгольской части Тавын-Богдо-уул является сложно-долинный ледник Козлова. Описание и оценка его динамики в начале XXI в. приведены в работах Н.Н. Михайлова и О.В. Останина (2002) и М.В. Сыромятиной с соавторами (2014). По данным последних авторов ледник опустился до абсолютной высоты 2640 м, граница питания в середине августа 2013 г. располагалась на абсолютной высоте около 3200 м (Сыромятина и др., 2014). Ледник заканчивается гротами и ледяными уступами. Через морену со стороны правого рукава прорывается водный поток, участвующий в формировании стока р. Цагаан-Ус.

Истоки другого притока р. Кобдо-Гол — Цагаан-Гол — приурочены к ледникам Потанина и Александры. Граница питания ледника Александры расположена на высоте около 3300 м. Концы ледников относительно плавно опускаются к задровой равнине до абсолютных высот около 2840 м (ледник Александры) и 2910 м (ледник Потанина). Язык ещё одного ледового объекта массива — ледника Гранё — опускается до абсолютной высоты около 2790 м, граница питания в середине августа 2013 г. зафиксирована на высоте 3180 м. На абсолютных высотах 3040–3200 м поток также образует «ледопад», а с высоты около 3000 м начинаются фирновые поля. К леднику Гранё примыкает ледник Крылова, который в начале XX в., по данным В.В. Сапожникова, своим концом почти сходил с первым, а затем высоко отступил и разделился на несколько ветвей (Сыромятина и др., 2014).

Ледники в сочетании с нивальными процессами определили альпийский характер рельефа этой территории, наиболее выразительными элементами которого являются кары (рис. 2).



Рисунок 2. Ледниковый кар в троговой долине р. Цагаан-Ус

Определения форм ледникового рельефа приведены в соответствии с (Гляциологический словарь, 1984). Горизонтальные размеры каров на юго-восточных склонах Тавын-Богдо-уул близки к средним значениям других алтайских территорий и колеблются от 0,2 до 1,5 км, высота стенок изменяется от 200 до 1000 м, чаще равна 500–700 м. Форма каров часто усложняется в зависимости от возраста. Наиболее простая форма (переход от долинного типа) наблюдается у небольших висячих экспозиционных современных ледников, сложная — у более древних. Морфологически более сложными и крупными являются *ледниковые цирки*, стенки которых обычно осложнены ступенчато расположенными карами. Высотный интервал, к которому приурочены кары и цирки, в разных частях горного массива неодинаков. Начало ледникового цирка ледника Козлова расположено на абсолютной высоте около 3200 м. В высоких хребтах горного узла Тавын-Богдо-уул кары развиты на склонах разной экспозиции.

Характерной чертой горного массива является связь каров и цирков с долинами — *трогами*. Наиболее хорошо морфологическая выраженность трогов (пологовогнутое дно, крутые склоны, плечи) представлены в вершинных частях долин на тех участках, которые занимались ледниками в эпоху последнего оледенения. Центральная часть троговых долин часто имеет характер *котловин ледникового вспахивания* и превращена в озёра. Так выглядят, напр., участки в долине р. Хара-Салагийн-Гол.

В пределах троговых долин отмечаются остатки ледниковых отложений, эрратические валуны, маргинальные каналы, бараньи лбы, ледниковая штриховка и борозды. Последние развиты на отполированных поверхностях, имеют параллельное или субпараллельное расположение и протяжённость до нескольких десятков метров. С котловинами ледникового вспахивания чередуются *ригели*, наличие которых подчёркивает неровный продольный профиль трогов.

В пределах трогов повсеместно развиты конечно-моренные комплексы (валы, гряды, холмы) с примыкающими к ним валами береговых морен. С отложенными моренами связан холмисто-западинный рельеф днищ речных и озёрных котловин.

**СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ.** Влияние оледенения определяется как их собственной активной рельефообразующей деятельностью, так и изменением условий проявления других экзогенных процессов (Рельеф..., 1988). В целом, процессы выветривания и

склоновой денудации приледниковых территорий массива Тавын-Богдо-уул характеризуются высокой активностью. На склонах широкое распространение имеют осыпи, обвалы, каменные глетчеры, солюфлюкционные микроформы, занимающие часто более трети склоновой поверхности.

В долине р. Цагаан-Ус на склоне юго-восточной экспозиции расположен один из крупных приледниковых *каменных глетчеров* горного массива Тавын-Богдо-уул. Площадь всего комплекса, состоящего из деградирующего ледника, морен и каменного глетчера, составляет около 2,5 км<sup>2</sup>, из них площадь собственно каменного глетчера — 1,2 км<sup>2</sup>. Общая длина комплекса — около 4,5 км при протяжённости каменного глетчера почти 3 км. Высота фронта, расположенного на абсолютной высоте около 2360 м, в среднем составляет 20–25 м (Сыромятина и др., 2014). На поверхности глетчера отмечаются многочисленные дугообразные валы и ложбины, а также продольные борозды раздела, что косвенно свидетельствует о его активности. На абсолютной высоте около 2500 м расположен уступ с незадернованной активной осыпью.

**Проявления тектонического / сейсмогенного рельефа.** Формирование современной поверхности массива Тавын-Богдо-уул происходит в условиях сводовых деформаций и напряжений, характерных для участков сопряжения тектонических структур (Монгольская..., 1990; Уфимцев, 2008). Эта территория характеризуется высокой тектонической и сейсмической активностью, отразившейся в образовании не только морфоструктуры территории, но и её морфоскульптурных особенностях.

Тектонические подвижки, деформируя выровненную поверхность, приводят к появлению специфических тектонических форм, морфологическая выраженность которых определяется порядком (размером) и приуроченностью к различным участкам тектонической зоны. Можно говорить о выделении трёх порядков тектонических форм рельефа (Платонова, 2005). В формировании морфоскульптуры горного массива принимают участие преимущественно *формы* микроуровня (*III-го порядка*). Они представлены сейсмогенными деформациями: первичными (*зияющие трещины, эскарпы*) и сейсмогравитационными (*обвалы, оползни* и др.). Этот порядок могут иметь также участки склонов треугольной формы — *фасеты*.

*Зияющие трещины* склонов являются широко встречаемыми элементами водоразделов, склонов, речных долин и озёрных котловин. Морфология и ориентировка зияющих трещин отражает структурный план территории. Ведущие направления: СЗ (аз. 310–320°), ЗВ (аз. 270°) и СВ (аз. 60°).

В долине р. Хара-Салагийн-Гол форма сопоставимых по размерам одиночных зияющих трещин изменяется на разных гипсометрических уровнях склона долины (относительно днища озёрной котловины). Зияющие трещины высокого гипсометрического уровня имеют U-образный профиль (*рис. 3*). На более низком уровне отмечены формы, характеризующиеся большей зрелостью — зияющие трещины — тектонические долины с ящикообразным профилем. Зияющие трещины заполнены различными по генезису осадками (склоновыми, золовыми, а в днищах — флювиогляциальными). Все элементы ящикообразных долин имеют сглаженный вид и испытали ледниковую и флювиальную обработку. В морфологии U-образных трещин на этой же площади отмечены угловатые элементы, не сглаженные ледником, что говорит об их постледниковом (голоценовом) возрасте.

Плановая форма зияющих трещин определяется в зависимости от кинематики отдельных участков тектонической структуры: для трещин отрыва, формирующихся в условиях локального растяжения — форма зигзагообразная, для трещин скола, образованных при сжатии — прямолинейная.

*Эскарпы* — ступени, которые по отдельным фрагментам обнаруживают морфологическое сходство с трещинами отседания склона и представляют собой, видимо, более ранние возрастные генерации подобных деформаций. Поверхность их, как правило, более выровнена, стенки, так характерные для молодых образований, разрушены.



Рисунок 3. Зияющая трещина U-образного профиля в долине р. Цагаан-Ус

Кроме фасетов, эскарпов и зияющих трещин в формировании морфоскульптуры высокогорного массива принимает участие ещё один важный элемент — сейсмогравитационные *обвалы* и *оползни*, пространственное распределение которых определяется приуроченностью к активизированным участкам тектонических разломов.

Выявленный при полевых исследованиях сейсмогенный обвал, расположенный на antecedентном участке в устьевой части р. Аршан-Гол, имеет ширину около 400–450 м и примерно такую же длину, т. е. носит фронтальный характер. В строении аккумулятивного тела участвуют как минимум две возрастные генерации. Относительно небольшой объём его определяется малым количеством материала, подготовленного к денудации после «работы» последнего ледника и невысокой энергией склонов.

Южная и северная граница обвала очень резкие, фронтальная часть аккумулятивного тела погружена в озеро у подножия горы. Тыловой шов имеет прерывистый, «западинный» характер. Микрорельеф обвального тела бугристый. Крупноглыбовый материал, слагающий аккумулятивное тело, не сцементирован. На выположенных уступах отмечается зарастание молодыми лиственницами и кустарником. Продольный профиль — ступенчатый. Форма в плане к краевой части имеет следы течения, что позволяет говорить о продолжающемся движении языка отвала после его падения и отнести тело к смешанному типу «обвал — каменный глетчер». О возрасте обвала можно судить по косвенным признакам. На границе растёт несколько старых лиственниц, одинаково обломанных, по всей видимости, в момент схода обвала. Одна из них, диаметром 160 см в нижней части и 140 см — в месте резкого сужения её ствола, т. е. на месте резкого изменения условий, возможно связанных с сейсмическим событием. Возраст, когда лиственница была сломана, согласно изменению её диаметра, по аналогии с образцами с российской части Алтая, можно предварительно оценить в 250–300 лет. Именно тогда произошло сейсмическое событие, которое сопровождалось сходом обвала и деформацией деревьев. Другой небольшой фронтальный обвал — каменный глетчер шириной около 400 м отмечен в долине Цагаан-Ус выше ответвления на перевал Хара-Салогийн-Даба (на водоразделе с бассейном Цагаан-Гол).

Таким образом, обвалы, выявленные в долине р. Цагаан-Ус, можно отнести к категории сейсмогенных обвалов — каменных глетчеров. По соотношению длины и ширины аккумулятивных тел они являются фронтальными и отличаются текущим «гофрированным» характером поверхности, определяемым положением их в приледниковой зоне.

*Фасеты.* В морфоскульптуре склонов речных долин и озёрных котловин Тавын-Богдо-уул широко встречаются разновозрастные тектонические фасеты. При анализе выявлено, как минимум три их типа: простой, усложнённый эродированный и сложный. Простой тип характеризуется относительной молодостью, т. е. отсутствием следов проработки денудационными процессами на резких склонах. Для усложнённого типа — форма эродирована денудационными процессами и, соответственно, по отношению к образованиям простого типа является более старой. Сложный тип фасета обладает свойствами фрактальности, что проявляется в самоповторяемости фасетов в разном масштабе. Эти формы по отношению к простым также являются более древними.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Наличие современного оледенения и сложный генезис определили морфологическое разнообразие поверхности юго-восточного макросклона трансграничного горного массива Тавын-Богдо-уул. Выявлено, что в формировании поверхности высокогорных территорий изучаемого массива наряду с нивально-гляциальными процессами большую роль играют тектонические и сейсмогенные. Молодые тектонические и сейсмогенные мезо- и микроформы (зияющие трещины, фасеты, эскарпы, обвалы и оползни) играют активную роль в формировании не только морфоструктуры, но и определяют морфоскульптурные особенности территории.

Особенностью высокогорья массива Тавын-Богдо-уул является широкое развитие в перигляциальной зоне специфических форм подножий склонов — фронтальных сейсмогенных обвалов — каменных глетчеров и небольшое — оползней.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН: Проект № АААА-А17-117041210243-8.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Галахов В.П., Редькин А.Г. Современное и древнее оледенение горного узла Тавын-Богдо-Ола // География и природопользование Сибири. – 2001. – Вып. 4. – С. 153–174.
- Гляциологический словарь / Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А., Гросвальд М.Г., Донченко Р.В., Дюнин А.К., Канаев Л.А., Котляков В.М., Кренке А.Н., Лосев К.С., Перов В.Ф., Цуриков В.Л.; под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 527 с.
- Дашиэвэг Ч. Основные морфоструктурные и морфогенетические типы поверхности территории Монгольского Алтая // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: Сб. тр. VII Междунар. науч. конф. (19–23.09.2005, Кызыл, Россия). В 2 т. / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2005. – Т. 2. – С. 170–172.
- Михайлов Н.Н., Останин О.В. Ледники Южного и Монгольского Алтая и их изменение в XX веке // География и природопользование Сибири: Сб. ст. – Барнаул: АлтГУ, 2002. – Вып. 5. – С. 3–20.
- Монгольская Народная Республика: Национальный атлас. – УБ–М., 1990. – 144 с.
- Платонова С.Г. Сейсмодеформации Монгольского Алтая // Рельеф и природопользование предгорных и низкогорных территорий: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (03–07.10.2005, Барнаул). – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. – С. 267–270.
- Рельеф Алтае-Саянской горной области / Чернов Г.А., Вдовин В.В., Окишев П.А. и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1988. – 206 с.
- Сапожников В.В. Монгольский Алтай в истоках Иртыша и Кобдо. – Томск, 1911. – 408 с.
- Сапожников В.В. По Русскому и Монгольскому Алтаю. – М.: Географгиз, 1949. – 579 с.
- Сыромятина М.В., Курочкин Ю.Н., Чистяков К.В., Аюурзана Ч. Современное состояние и изменения ледников горного массива Тавын-Богдо-Ола (Монголия) // Лёд и Снег. – 2014. – № 4 (3). – С. 31–38.
- Тронов Б.В. Каталог ледников Алтая // Изв. РГО. – 1925. – Т. 57. – Вып. 2. – С. 107–159.
- Тронов М.В. Очерки оледенения Алтая. – М.: Географгиз, 1949. – 375 с.
- Уфимцев Г.Ф. Сводово-глыбовый или гобийский новейший орогенез // Литосфера. – 2008. – № 3. – С. 14–25.