

УДК 551.1

## ТРЕККИНГ К ПОДНОЖИЮ ДЖОМОЛУНГМЫ (ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСКУРСИЯ В ВЫСОКИЕ ГИМАЛАИ)

К.А. Новоселов, Е.В. Белогуб

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; const31@yandex.ru*

## TREKKING TO THE FOOT OF CHOMOLUNGMA (GEOLOGICAL EXCURSION IN HIGH HIMALAYA)

K.A. Novoselov, E.V. Belogub

*Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; const31@yandex.ru*

Рассмотрено геологическое строение Высоких Гималаев на традиционном трекинговом маршруте Лукла – базовый лагерь Джомолунгмы. Маршрут пересекает последовательность высокометаморфизованных пород, сформированных в ходе коллизии Индийской и Тибетской плит.

Илл. 2. Библ. 3.

*Ключевые слова:* Высокие Гималаи, Джомолунгма.

The article deals with geological structure of the High Himalaya in traditional trekking route Lukla - base camp Chomolungma. The route crosses the sequence of the highly metamorphosed rocks formed during the collision of the Indian and Tibetan plates.

Figures 2. References 37.

*Key words:* High Himalaya, Chomolungma.

*Даше Яшиной*

### Введение

Популярность трекингового маршрута Лукла – базовый лагерь Джомолунгмы делает его едва ли не самым удачным коммерческим предприятием в Непале. Почти непрерывный поток людей со всего мира движется по этой тропе, кто – вверх, кто – вниз. Для большинства – это возможность увидеть Джомолунгму, высочайшую вершину на Земле. В то же время, это интересный геологический аттракцион, в котором можно видеть последствия продолжающегося орогенеза, столкновения двух литосферных плит. Маршрут начинается в пос. Лукла (2860 м), проходит по долинам рек Духх-Коси и Имджа-Кхола и заканчивается на вершине Кала-Потар (5540 м) (рис. 1). Он пересекает различные ландшафты и сильно метаморфизованные породы комплекса Высоких Гималаев.

Первая геологическая карта района Эвереста была создана главой геологической службы Ин-

дии – А. Хероном, в ходе Британской рекогносцировочной экспедиции к Эвересту в 1921 г. После открытия непальской границы в 1950 г. началось активное изучение геологии региона в целом и южной стороны Джомолунгмы, в частности. Первое геологическое исследование датируется 1952 г. и принадлежит профессору геологии А. Ломбарду, члену швейцарской экспедиции на Эверест. Результаты его наблюдений были опубликованы в 1958 г. Позднее, в 1955 г. район посетил швейцарский геолог Т. Хаген, чьи результаты работ являются значимыми по сей день. До сих пор наиболее крупным обобщением по геологии Гималаев, охватывающим также и район Джомолунгмы, является монография А. Гансера (1967).

### Гималаи – самая молодая горная система в мире

Гималайский хребет образует дугу в северном обрамлении индийского субконтинента от р. Инд

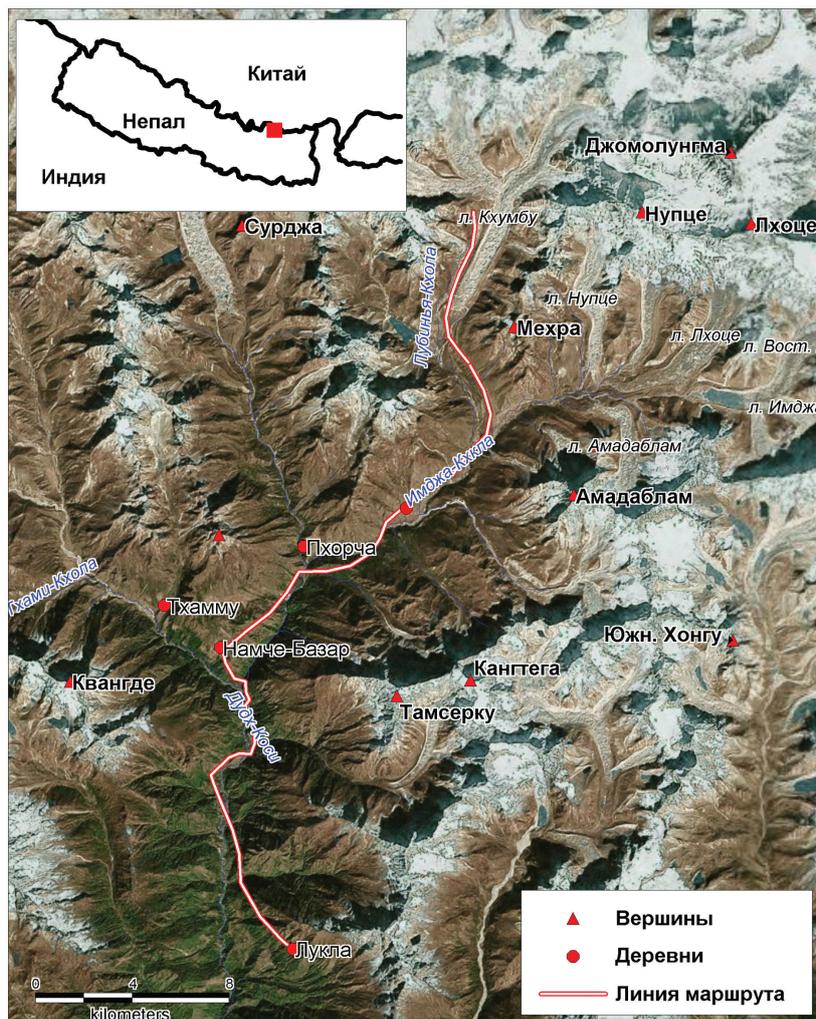


Рис. 1. Нитка маршрута и положение основных географических единиц на снимке Virtual Earth.  
 Fig. 1. Route and position of main geographical units in the Virtual Earth image.

на западе до р. Брахма-Путра на востоке. Горная цепь простирается в субширотном направлении между широкими равнинами Инда и Брахмапутры на юге и Тибетским плато – на севере. Гималаи покрывают площадь примерно 600 000 км<sup>2</sup>.

Следуя устоявшимся представлениям (Гансер, 1967), гималайский регион можно разделить на следующие тектонические зоны, которые почти параллельны друг другу:

- 1) равнина Ганга (собственно к Гималаям не относится);
- 2) Субгималаи (Siwalik);
- 3) Малые Гималаи;
- 4) Высокие Гималаи;
- 5) Тетис-Тибетский пояс (Тибетские Гималаи).

Эти тектонические зоны отделены одна от другой разрывными нарушениями. Самый южный

Главный передовой разлом (Main Frontal Thrust, MFT) отделяет Субгималаи от равнины Ганга. Главный пограничный разлом (Main Boundary Thrust, MBT) отделяет Малые Гималаи от Субгималаев. Главный центральный разлом (Main Central Thrust, MCT) отделяет Малые Гималаи от Высоких Гималаев. Южно-Тибетская тектоническая зона (South Tibetan Detachment System, STDS) маркирует границу между Высокими Гималаями и Тетис-Тибетским поясом. Собственно границей между Индийской и Тибетской плитами является сутурная зона Инд-Цангпо (Indo-Tsangpo Suture Zone).

**Рельеф маршрута.** Маршрут пересекает две параллельные горные цепи. Южная цепь увенчана г. Нумбур (6954 м), Квангде (6193 м), Кангтега (6809 м), Амадаблам (6856 м). Северная цепь (Махалангур-Химал) более высокая и включает в себя

вершины Чо-Ойю, Джомолунгма, Лхоце. Средняя высота северной цепи 7000 м – это основной водораздел. Между двумя горными цепями лежит долина Кхумбу.

Ландшафты долины Кхумбу сформированы гляциальными и перигляциальными агентами. В долине существуют три различных зоны – гляциальная, перигляциальная и флювиальная. На высотах выше 4500 м главным геоморфологическим фактором является гляциальный. Главные ледники берут начало от цепи Чо-Ойю – Джомолунгма. На южной цепи ледники редки. Сектор льда, снега и ледников характеризуется очень крутыми горными склонами с широкими U-образными долинами. Горные склоны не способствуют аккумуляции снега и льда. Лед накапливается на защищённых и выположенных склонах. Ледниковые долины широкие. Стенки долин подвержены ледниковой эрозии. По бокам ледников накапливается латеральная морена. Ледники покрыты абляционной мореной, которая проявлена в виде потоков медленно движущейся породы. Языки ледников широкие и характеризуются моренами отступающих ледников.

В интервале высот 4500–3000 м действует комбинация гляциальных и флювиогляциальных факторов. Климат перигляциальный. Долины широкие, U-образные. В долине встречаются остатки латеральной, фронтальной и донной морен. Морены покрыты почвой и растительностью. На нижний предел плейстоценового гляциального оледенения (3000 м) указывают моренные отложения в Пхорча и Тхамму. Вместе с отступлением ледника новый флювиогляциальный цикл изменял ранние формы. Моренный материал эродировался. Также развиты формы многолетней мерзлоты.

Ниже 3000 м рельеф формировался преимущественно флювиальными агентами: потоки образуют узкие ущелья вместо широких ледниковых долин.

**Геология Высоких Гималаев.** Высокие Гималаи состоят из последовательности сильно метаморфизованных грубозернистых пород мощностью около 10 км. Ширина пояса варьирует. К северу от Высоких Гималаев картируется Тетис-Тибетский пояс, который отделён от них Южно-Тибетской тектонической зоной. В восточной части Непала породы этого пояса найдены на вершине Джомолунгмы. Большинство других великих пиков Непала (Манаслу, Аннапурна, Даулагири) также сложены ими. Иногда наблюдается нормальный переход осадочных пород Тетис-Тибетского пояса к породам пояса Высоких Гималаев.

Комплекс метаморфических пород Высоких Гималаев падает на северо-запад, север и северо-восток. Он представлен монотонной толщей метаморфических пород и мигматитов (Rai et al., 2007; Searly et al., 2003). Мигматизация настолько сильная, что первичная природа пород не сохраняется. Стратиграфическое расчленение пород затруднено. Формально же они разделены снизу вверх на гнейсы Чаурихарка (Chaurikharaka), кристаллические сланцы и мигматиты Намче (Namche), чёрные гнейсы и кристаллические сланцы.

Основание разреза *гнейсов Чаурихарка* неизвестно. Породы имеют тектонический контакт с мраморами, чёрными сланцами, кварцитами и мигматитами комплекса Малых Гималаев. В отличие от мигматитов Малых Гималаев, гнейсы Чаурихарка тонкокристаллические, полосчатые, не содержат мусковита. Тёмные слои обогащены биотитом и гранатом, иногда силлиманитом. Светлые полевошпатовые слои имеют тонкозернистую структуру с редкими овоидами полевого шпата. Иногда в гнейсах наблюдаются прослои амфиболитов десятиметровой мощности. Это тёмно-зелёные грубокристаллические породы, состоящие из роговой обманки, актинолита, тремолита, эпидота, плагиоклаза и др.

В средней части разреза полевошпатовые слои более крупнозернистые с более частыми овоидами полевого шпата и редкими гранатом и кианитом. Верхняя часть разреза характеризуется тонкими слоями амфиболитов; гранат, кианит и силлиманит здесь очень редки и очень тонкозернистые.

Мигматизация полосчатых гнейсов Чаурихарка маркирует начало разреза *кристаллических сланцев и мигматитов Намче*, которые покрывают большую часть площади. Мигматиты лучше всего обнажены в ущельях рек Бхот-Коси и Дудх-Коси вокруг Намче-Базара. Здесь наблюдаются широкие вариации текстур и структур пород из-за интенсивной мигматизации. Этот комплекс состоит из полосчатых гнейсов, мигматитов, инъекционных мигматитов. Можно встретить полностью антактические породы. Породы субстрата могут быть встречены в основании и в средней части разреза и включают в себя тонкополосчатые гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы, иногда мраморы.

Нижняя граница комплекса Намче ясно не определена. Прогрессивная мигматизация началась с полевошпатовых слоёв тонкополосчатых гнейсов Чаурихарка. В отличие от последних, в породах комплекса Намче полосчатость более грубая (мощ-



Рис. 2. Граница (STDS) метаморфических пород Высоких Гималаев и осадочных пород Тетис-Тибетского пояса.

Fig. 2. Contact (STDS) of metamorphic rocks of the High Himalaya and sedimentary rocks of the Tethys-Tibetan foldbelt.

ность полос до 5 см). В меланосомах преобладает биотит, с которым иногда ассоциирует силлиманит. Также иногда наблюдаются гранат и кианит. Лейкосома представлена гранулозернистым агрегатом кварца и полевого шпата.

Выше по разрезу мигматиты различного сложения чередуются с биотитовыми гнейсами. На уровне Пангбоче в мигматитах отмечаются слои мраморов, амфиболитов. Севернее Пангбоче в различных типах мигматитов регулярно встречаются прослойки биотит-хлоритовых сланцев. Верхняя граница комплекса Намче маркируется постепенным исчезновением мигматитов и появлением тонкополосчатых тёмных биотитовых и хлоритовых гнейсов и сланцев.

Типичный разрез комплекса чёрных гнейсов и сланцев обнажён на крутом южном склоне гряды Нупце-Лхоце, а также в верхней части западных склонов гор Амадаблам и Кангтега. Породы тёмноокрашенные, тонкополосчатые, тонкозернистые. Полосчатость обусловлена чередованием участков, обогащённых биотитом и хлоритом, а также кварц-полевошпатовыми агрегатами. Породы содержат кордиерит, идиоморфные кристаллы которого могут достигать нескольких сантиметров. Участками присутствуют слои гранатосодержащих амфиболитов. Породы интродуцированы гранитами Нупце.

Граниты Нупце лучше всего обнажены на южном склоне одноимённой горы. Они образуют тело силлообразной формы. Нижняя граница с чёрными гнейсами и сланцами осложнена дайками и пегматитами, иногда зонами рассланцевания. Граниты лейкократовые, от тонко- до среднезернистых. По-

мимо кварца и полевого шпата, в них присутствуют биотит, мусковит и турмалин.

Породы Тетис-Тибетского пояса имеют очень ограниченное распространение. Эти породы выявлены в привершинных частях Джомолунгмы, Нупце и Лхоце. Непосредственные геологические наблюдения осадочных пород Тетис-Тибетского пояса редки.

В районе Джомолунгмы породы Тетис-Тибетского пояса состоят из: 1) нижних известковистых слоёв; 2) пелитов Эвереста и 3) известняков Эвереста. Контакт с нижележащими метаморфическими породами тектонический и является частью Южно-Тибетской тектонической зоны (STDS) (рис. 2).

Нижние известняки достоверно выявлены только в долине Ронгбук с тибетской стороны. Они изменены до мраморов и секутся гранитами интрузии Макалу. Пелиты Эвереста начинаются базальными тёмными мелкозернистыми гнейсами, которые переходят в филлиты, а те, в свою очередь, – в толщу мощностью 1000–1500 м тёмных зеленовато-серых глинистых песчаников, песчано-глинистых известняков и алевритов. Пелиты Эвереста погружаются в сторону ледника Ронгбук. Известняки Эвереста сохранились на вершине в виде эрозионного останца и, собственно, формируют вершину. Светлоокрашенные известняки характеризуются тонкой полосчатостью, образованной чередованием песчанистых и известковистых прослоев. Известняки содержат мелкие идиоморфные кристаллы доломита. Фаунистические останки плохой сохранности представлены криноидеями (Гансер, 1967).

**Как формировались Гималаи (заключение)**

Гималаи сформировались при коллизии Индийской и Тибетской плит, которая началась около 50 млн лет назад. Горообразующие процессы здесь действуют до сих пор. Катастрофическое землетрясение в Катманду 2015 г. является их печальным следствием. Индийская плита продолжает двигаться в северном направлении со скоростью примерно 5 см/год, субдуцируясь под Тибет. В результате субдукции произошло горизонтальное сжатие и утолщение земной коры, а также региональный метаморфизм пород. Высокие температуры ( $> 620$  °C), соответствующие силлиманитовой фации метаморфизма, существовали между 32 и 16 ( $\pm 0.5$ ) млн лет вдоль кровли слэба Высоких Гималаев (Searly et al., 2003). Массив Джомолунгма–Лхоце–Нупце вмещает силл лейкогранитов мощностью до 3000 м, который обнажён на южной стороне Нупце и является ответственным за экстремальную высоту массива.

**Литература**

*Гансер А.* Геология Гималаев. М.: Мир, 1967. 351 с.

*Rai S.M., Yoshida M., Upreti B.N., Ulak P.D.* Geology of the Lesser Himalayan and Higher Himalayan Crystalline sequences of the Everest area along the Dudh Koshi valley, eastern Nepal Himalaya // *Journal of Nepal Geological Society*. 2007. Vol. 36. P. 11.

*Searly M., Simpson R., Law R., Parrish R., Waters D.* The structural geometry, metamorphic and magmatic evolution of the Everest massif, High Himalaya of Nepal-South Tibet // *Journal of the Geological Society*. 2003. Vol. 160 (3). P. 345–366.

*Поступила в редакцию 10 сентября 2016 г.*