

Tectonic relief of the Nepalian Himalaya is characterizes in comparison with its geologic structure. The origin of the mountain system of Himalaya – the largest orogene – is determined by several geodynamic factors, of which the interaction of lithosphere blocks in the Indo-Asian segment of the Earth is the main.

УДК 551.435.38(235.243)

© 2000 г. Ю.В. ЕФРЕМОВ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ КОТЛОВИН В НЕПАЛЬСКИХ ГИМАЛАЯХ

Происхождение, распространение и динамика озерных водоемов в Гималаях в отечественной литературе ранее не рассматривались. Исследование озер в Непальских Гималаях проводится эпизодически отдельными экспедициями с целью выделения среди них потенциально опасных прорывных ледниковых водоемов [1–4]. Известно, что некоторые ледниковые озера прорывались и их водные массы формировали катастрофические селевые паводки [4]. Яркий пример тому – прорыв озерного водоема, примыкающего к леднику Лангмоче в бассейне р. Дуд-Коси (Центральные Гималаи) в 1985 г. При этом сформировался катастрофический селевой паводок, ставший причиной разрушения гидроэлектростанции вблизи села Тама (Соло-Кхумбу), некоторых домов, смыва части трекинговой тропы и уничтожения сельскохозяйственных полей [5].

В данной работе рассматриваются закономерности формирования озерных котловин средне- и высокогорной частей Центральных и Восточных Гималаев в пределах королевства Непал. За основу приняты материалы полевых исследований автора в 1998–99 гг. и анализ топокарт м-ба 1 : 50000, составленных по аэрофотоснимкам 1992 г. и изданных Департаментом геологии и геоморфологии Его королевского величества правительства Непал при содействии правительства Финляндии.

На рассматриваемой территории на 1999 г. учтено 667 озерных водоемов общей площадью 414.2 км² (без учета временных водоемов, расположенных на ледниках и кратковременно возникающих при лавинно-селевой деятельности). При этом следует отметить, что количество ледниковых озер и их суммарная площадь могут изменяться в ту или иную сторону в зависимости от колебания положения конца языка. Большая часть озер имеет площадь от 0.01 до 0.05 км² (55.4% от общего количества и 1.7% от площади водной поверхности).

Наряду с малыми водоемами встречаются и более крупные озера на северном склоне Гималаев (Южный Тибет): Пельку-Чо (265 км²), Соло-Чамлинг (58.8 км²), Хару-Очен (21.6 км²), на южном склоне Гималаев это Чо-Ролпа (1.39 км²), Ческам (0.82 км²), Имджа-Чо (0.76 км²).

Формы озерных котловин очень разнообразны. Для изучения их морфологии использовались некоторые батиметрические планы наиболее хорошо изученных прорывоопасных озер, а также морфометрические показатели, прочно вошедшие в практику озерных исследований [6]. К их числу относятся: отношение длины озера к его средней ширине ($1/B_{cp}$) – удлинённость, отношение средней ширины к наибольшей (B_{cp}/B_{max}) – компактность, отношение длины береговой линии к длине окружности равновеликого озеру круга ($0.28 L/Vc$) – развитие береговой линии.

Проведенный анализ позволяет разделить озера Гималаев на две категории. К первой относятся озерные водоемы округлой и овальной формы (каровые, малые обвальнo-запрудные и лавинного выбивания), ко второй – крупные обвальнo-запрудные тектонические и моренно-запрудные, подпруженные ледниками. Большинство озер относится к первой категории с показателями: удлиненности (или вытянутости) – 1.0–5.0, компактности – 0.6–0.8. Озера второй группы отличаются большей вытянутостью (0.5) и меньшими показателями компактности (> 0.45) и развития береговой линии (1.1–1.5).

Морфометрические показатели, характеризующие форму озерных котловин по вертикали, мало известны, поскольку измерение глубин, за исключением нескольких крупных приледниковых озер (Чо-Ролпа – 131 м, Нижний Барун – 109 м, Хулаги – 81 м), не проводилось.

Форма озерной котловины определяется факторами (процессами) их формирования: тектоническими, гравитационными и ледниковыми. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Тектонические движения в пределах горной системы Гималаев очень контрастны (их интенсивность достигает 10–15 мм/год [7]). Механизм формирования тектонических озерных котловин мало исследован. Можно предположить, что некоторые озера возникли в результате отрицательно направленных движений в пределах межгорных котловин в Южном Тибете (озера Пельку-Чо, Соло-Чамлинг, Хару-Очен и др.), а также на южных склонах Западных Гималаев в районе г. Покхара (Бегнас, Рупал. Хасте и др.) [8].

Гравитационные процессы. Формирование некоторых озер связано с неустойчивым состоянием склонов, возникновением обвалов и последующим подпруживанием речных русел. В этих случаях "спусковым крючком" являются землетрясения, ливневые осадки, таяние ледников, срыв снежных лавин и ледниковых обвалов. Например, в результате прорыва крупного ледникового озера примерно 700 лет назад в верховьях р. Сети-Кхола под восточным склоном г. Мачахпачури (6993 м) образовался мощный селевый поток. Селевые отложения объемом несколько млн. м³ подпрудили р. Харпан-Кхола (в районе современного г. Покхара) и стали причиной возникновения озера Фева площадью около 7.0 км².

Обвальнo-запрудные озера в высокогорной части Гималаев – достаточно редкое явление (0.9% от общего числа озер), что обусловлено морфологическими особенностями речных долин (глубоких и узких с отвесными склонами). В них довольно часто оползают и обрушиваются склоны, но возникающие плотины в руслах рек быстро размываются водными потоками. К числу запрудных озер следует отнести Курихом, Соло-Кхола, Сауна-Покхари и др. в бассейнах рр. Арун и Барун.

В высокогорной зоне широко распространены гляциальные озера (91.9% от общего числа). Появление озер обычно связывают с деградацией оледенения, когда среди мощных толщ моренных отложений остаются значительные массы погребенных льдов. Находясь под чехлом обломочного материала, эти льды тают значительно медленнее, чем языки ледников, и при их вытаивании происходит просадка моренных отложений, что и обуславливает озерообразование. Кроме того, возникновению новых озер способствуют различные пластичные подвижки погребенных льдов, вызывающие появление на поверхности морен разломов и трещин, заполняемых в летнее время водой. Ванны озер постоянно подвергаются воздействию термокарстовых процессов, а также механической и термической деятельности водных потоков.

Чем крупнее ледник, тем более мощные моренные отложения он формирует в период деградации оледенения, и, следовательно, возникают большие по площади приледниковые озера. Одним из главных условий их возникновения является наличие фронтальных морен у концов ледников.

В Гималаях образование ледниковых озер происходит двумя путями. Первый – постепенное таяние перекрытого мореной ледника и образование наледникового во-

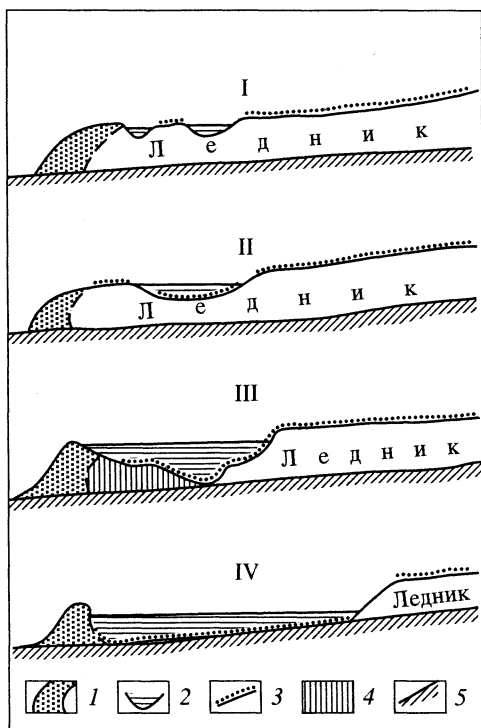


Рис. 1. Схема развития приледникового моренно-запрудного озера

Стадии развития: I – возникновение мелких водоемов на поверхности ледника, II – протаивание ледника и возникновение наледникового озера, III – протаивание ледника до каменного ложа и образование приледникового озера, IV – стабилизация размеров озера и начало его деградации. 1 – конечная морена, 2 – озеро, 3 – поверхность ледника, покрытая мореной, 4 – мертвый лед, 5 – каменное ложе

доема на конце его языка (рис. 1). Так возникли многие фронтальные приледниковые водоемы (например, Имджа, Чо-Ролпа и др.). Во втором случае происходит отчленение бокового притока от основного долинного ледника и постепенное заполнение возникшей части талыми водами (например, оз. Гокио в районе ледника Нгозумба (рис. 2, 3).

Значительно реже в рассматриваемом районе подпружные озерные водоемы возникают в результате наступания ледника, когда его подпруживает речной поток (например, оз. Чола-Чо) (рис. 3).

Дальнейшее развитие возникших озерных водоемов зависит от многих обстоятельств, среди которых главными являются режим ледника (активная или пассивная фазы), интенсивность экзогенных процессов, гидрологические режимы водных потоков, впадающих в озерные водоемы, геологические и геоморфологические особенности подстилающей ледник поверхности.

Увеличение водоема в ширину ограничено боковыми моренами, расстояние между ними у гималайских ледников не превышает 200–500 м. Углубление водоема будет происходить до тех пор, пока в ложе озерной ванны не растает весь лед (рис. 1).

Возраст большинства ледниковых озер исчисляется десятками и реже сотнями лет. Все крупные приледниковые водоемы возникли в последние 30–40 лет. Например, оз. Имджа под южной стеной Лхоцзе возникло в 1965 г., Нижний Барун – в 1960 г., Имджа – в 1967 г., Чо-Ролпа – в 1955 г. [4].

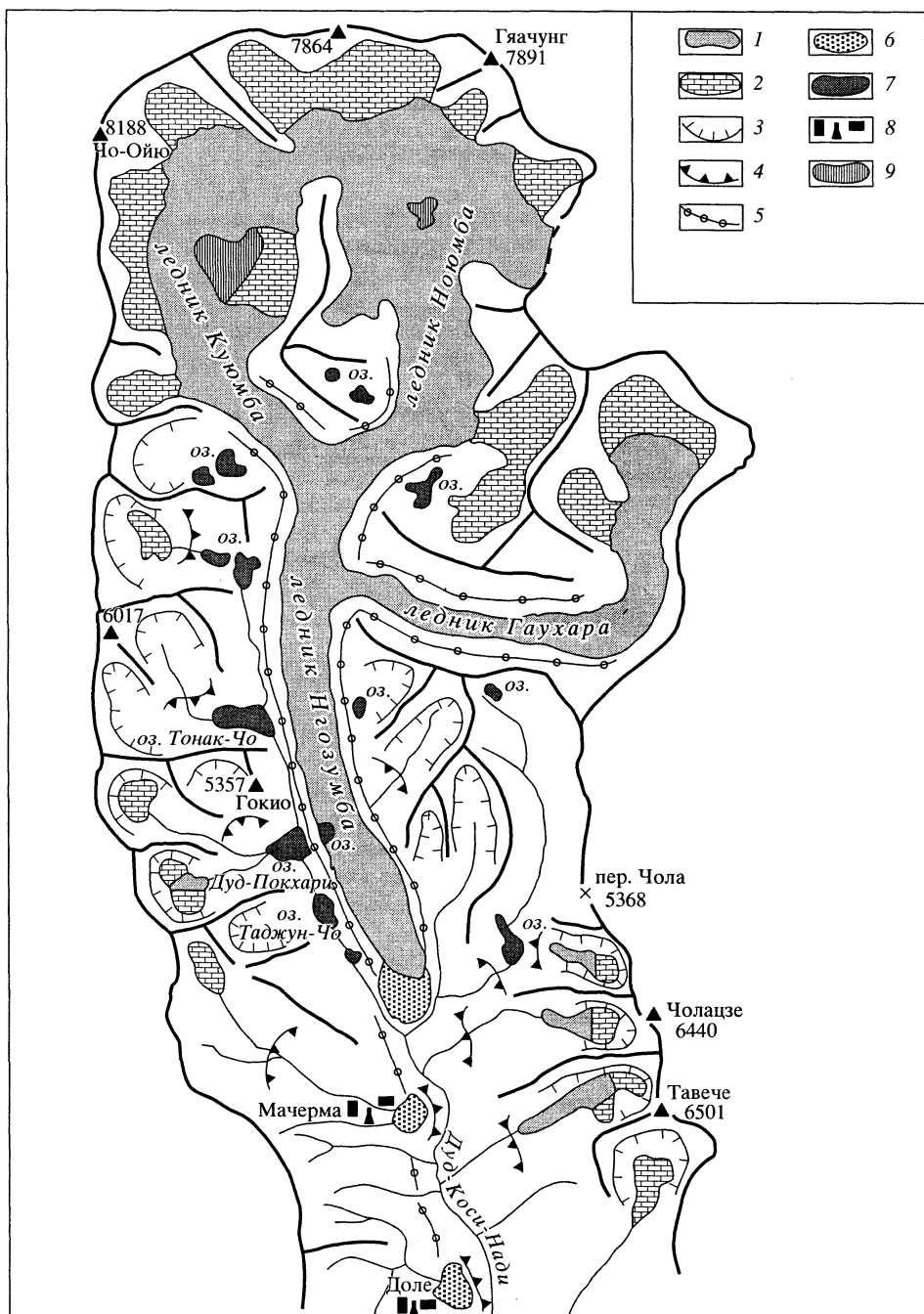


Рис. 2. Схема ледников и озер в истоках р. Дуд-Коси-Нади (район Соло-Кхумбу)

1 – современные ледники, 2 – ледопады, 3 – кары, 4 – ригели, 5 – боковые морены, 6 – конечные морены, 7 – современные озера, 8 – населенные пункты, 9 – останцы

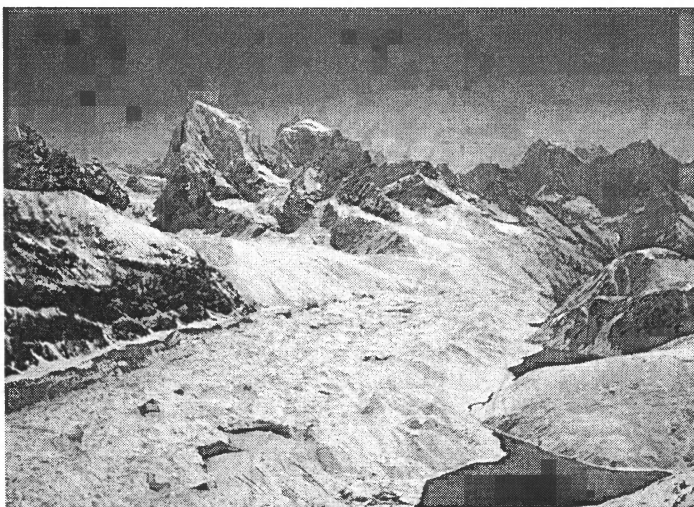


Рис. 3. Ледник Нгозумба и озеро Гокио, возникшие при отчленении боковых ледников
(Фото Ю.В. Ефремова 24.10.99 г.)

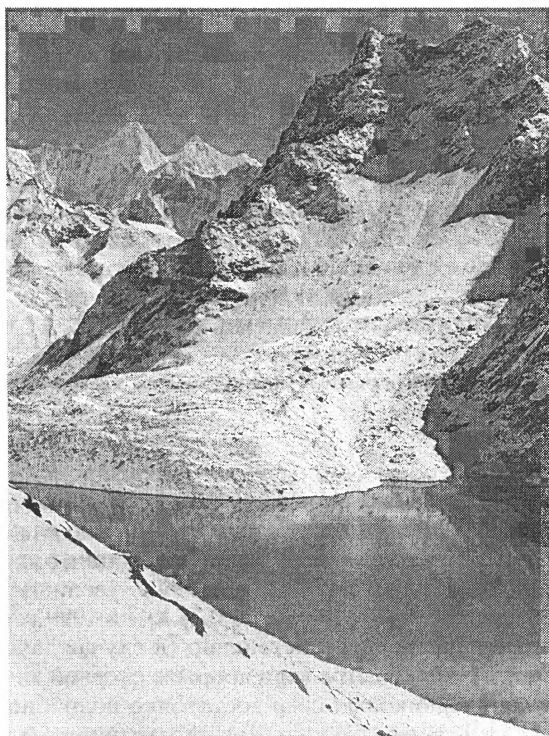


Рис. 4. Озеро Чола-Чо, возникшее при подпирании долинным ледником
(Фото Ю.В. Ефремова 23.10.99 г.)

Потенциально опасные ледниковые озера в Непальских Гималаях

Название озера	Речной бассейн	Координаты	Высота над у.м., м	Площадь, км ²	Объем воды, млн. м ³
Сабайн-Чо	Дуд-Коси (Хинку-Кхола)	27°45' с.ш.	4465	0.5	
		86°55' в.д.			
Дуд-Кунд		27°41' с.ш.			
		86°55' в.д.			
Чамлан-Чо	Дуд-Коси (Хунку-Кхола)	27°45' с.ш.	5000	0.64	
		86°58' в.д.			
Ческам-Чо		27°47' с.ш.			
		86°58' в.д.			
Имджа	Дуд-Коси	27°59' с.ш.	5010	0.75	28.0
		86°56' в.д.			
Дуво		27°53' с.ш.			
		86°51' в.д.			
Чола-Чо		27°55' с.ш.	4560	0.55	
		86°47' в.д.			
Лумдинг-Чо		27°46' с.ш.			
		86°37' в.д.			
Чо-Ролпа	Тама-Коси	27°50' с.ш.	4580	1.39	76.6
		86°28' в.д.			
Нижний Барун		27°48' с.ш.			
	Арун	87°07' в.д.	4570	0.6	28.0
Тосулаги	Марсианди	28°30' с.ш.	4146	0.76	31.8
		84°30' в.д.			
Биренда		28°25' с.ш.			
Кунд	Бури-Гандаки	84°40' в.д.	3570	0.44	
		27°45' с.ш.			
Лихну		86°31' в.д.			

До настоящего времени здесь не известно общее количество прорывоопасных озер. По нашим данным, к числу таких относятся Имджа, Нижний Барун, Чо-Ролпа, Хулаги и др. (таблица). Ранее неоднократно происходили прорывы и опорожнения озерных водоемов в различных высокогорных районах Непала и на сопредельных территориях с последующим формированием катастрофических селевых паводков [4, 13, 14].

По данным совместной китайско-непальской экспедиции, проведенной в 1987 г., прорыв озер за период с 1960 по 1995 г. происходил 13 раз, при этом некоторые из зарегистрированных озер прорывались по 2–3 раза. Частота прорыва ледниковых водоемов примерно один раз в четыре года, что в целом чаще, чем проявление других природных катастроф [4].

Таким образом, общепризнано, что водно-ледниковые катастрофы, связанные с прорывом приледниковых водоемов, являются серьезной проблемой освоения высокогорных районов Непала, поэтому дальнейшее изучение ледниковых озер является одной из важных задач Непала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yamada T. Report for first research expedition to Imja glacier lake. Kathmandu: Nepal Ministry Water and Energy Com. Sec. 1995. 14 p.
2. Yamada T. Glacial lakes and outburst floods in the Nepal Himalaya. Kathmandu: Jap. Intern. Coop. Agency, 1993. 37 p.
3. Yamada T. Report on the investigation of Tsho Rolpa glacier lake, Rolwaling valley. Kathmandu: Nepal Ministry Water Resource. Water and Energy Com. Sec. Kathmandu: Jap. Intern. Coop. Agency, 1992. 98 p.
4. Yamada T. Glacier lake and its Outburst Flood in Nepal Himalaya. Monograph № 1. Date Center for glacier research, Jap. Soc. Snow and Ice, 1998. 96 p.

5. *Ives J.D.* Glacier lake outburst flood and risk engineering in the Himalaya. ICIMOD Occasional Paper. 1986. № 5. P. 41 p.
6. *Ефремов Ю.В.* Горные озера Западного Кавказа. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 112 с.
7. *Kalvoda J.* Geomorphological Record of the Quaternary Orogeny in the Himalaya and the Karakorum. Prague, 1992. 360 p.
8. *Ives J.D., Messerli Br.* The Himalayan Dilemma. L.; N.Y., 1986. 296 p.
9. *Watanabe T., Ives J.D., Hammod J.* Rapid growth of a glacial lake in Khumbu Himal, Himalaya: prospects for a catastrophic flood // Mountain research and development. 1994. V. 14. P. 329–340.
10. *Watanabe T., Kameyama S., Sato T.* Imja glacier dead – ice melt rates and changes in supra-glacial lake 1989–1994. Khumbu Himal, Nepal: danger of lake drainage // Mountain research and development. 1995. V. 15. № 4. P. 293–300.
11. *Виноградов Ю.Б.* Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 156 с.
12. *Stone K.H.* The Annual Emptying of Lake George Alaska // Arktik. 1963. V. 16. № 1. P. 26–39.
13. LIGG, WECS and NEA Report on first expedition to glaciers and glacier lakes in the Pumqu (Arun) and Poiqu (Bhote Sun Koshi) river basins, Xizang (Tibet), China. Beijing, China: Science Press, 1988. P. 3–11.
14. *Xu Daoming Feng Qinghua.* Dangerous glacier lakes and their outburst features in the Tibetan Himalayas // Bulletin of glacier research. 1998. V. 12. P. 1–8.

Кубанский госуниверситет

Поступила в редакцию
01.12.2000

TO THE ORIGIN OF LAKE BASINS IN THE NEPALIAN HIMALAYA

Ju.V. YEFREMOV

S u m m a r y

The origin of lake basins in the middle and high mountains of Central and Eastern Himalaya is under consideration. Differentiated tectonic movements, gravitational and glacial processes are the cause of basin's formation. Special attention is paid to the hazard of the inrush of the periglacial lakes.