

УДК 551.24.03:551.217.5 (285.2)(671.8)

Африканские озера Ниос и Монун — индикаторы уникального углекислотного глубинного дыхания Земли

Н. Н. Шаталов *

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины” Киев, Украина

В результате анализа космической, геологической и тектонической информации установлено, что истинными причинами природных эколимнологических катастроф в Камеруне в 1984 и 1986 гг. являлись современные разломно-блоковые тектонические движения, тесно связанные с сейсмо- и геодинамикой на одном из участков “живых” гор Адамава. Главной причиной катастроф необходимо считать активизацию эндогенных процессов, происходящих в мантии и тектоносфере Земли. Космо- и ротогенез планеты Земля, в приповерхностных частях земной коры горного сегмента “Адамава”, обусловил интенсивные горообразовательные и теплогазобменные процессы, причины и механизм которых тесно связан с подъемом из мантии аномально горячего магматического материала и газово-жидких флюидов, содержащих CO_2 . Благоприятными транспортными путями для теплопереноса в литосфере Земли являются вулканические каналы, а также ортогональная и диагональная сеть глубинных разломов. Вулканические каналы при этом следует рассматривать как уникальные трубы дегазации нашей планеты. Выброшенный из глубин озер Ниос и Монун смертоносный диоксид углерода преимущественно является дифференциатом магматических расплавов, а последние в свою очередь, имеют мантийные “корни”, уходящие на глубину 200–300 км. Вулкано-кратерные озера Ниос и Монун приурочены к узлам пересечения “живых” глубинных разломов, вскрывающих глубинные горизонты планеты, где в магматических очагах в качестве продуктов дифференциации преобладает CO_2 .

Автором предложен механизм формирования твердого газогидратного панциря, сравнительно плотно закупорившего вулканический кратер. Эта гигантская газогидратная пробка препятствовала постепенно-пассивной циркуляции, т. е. оттоку в гидросферу и атмосферу CO_2 , поступающего из глубинных и промежуточных магматических очагов. Так, под газогидратным панцирем озер Ниос и Монун, скопился большой объем CO_2 . Взрывные выбросы значительных объемов смертоносного газа могли появиться лишь при геодинамической активизации участка земной коры, где расположены эти уникальные вулкано-кратерные озера. Сеймотектонические процессы способствовали разрушению газогидратного панциря и прорыву CO_2 по разломам, трещинам и через водную оболочку к поверхности. Выбросы газов на вулкано-кратерных озерах Ниос и Монун — это ярчайший пример (индикатор) углекислотно-глубинного дыхания Земли.

Ключевые слова: эколимнологическая катастрофа, углекислый газ, геология, тектоника, сеймотектоника, разломы, глубинная дегазация, космоснимки

© Н. Н. Шаталов. 2019

DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.21.150>

Вступление

В последние десятилетия экологи обеспокоены тем, что в результате неконтролируемой антропогенной деятельности человека (сжигание угля, газа и других горючих полезных ископаемых) в атмосферу Земли постоянно выбрасывается огромное количество диоксида углерода (углекислого газа), что ведет к потеплению климата, парниковому эффекту и возникновению дыр в озоновом слое, защищающем все живое на нашей планете от смертоносного космического излучения. При этом, в расчетах не всегда учитываются природные выбросы CO_2 из вулканов и “живых” глубинных разломов, т. е. из недр Земли. В предлагаемой статье рассмотрен яркий пример значительных по объему и суперактив-

ных выбросов диоксида углерода эндогенного генезиса в атмосферу и связанных с ними катастрофических экологических последствий.

Материал исследований

В 1984 и 1986 гг. средства массовой информации всего мира сообщили о двух природных эколимнологических катастрофах, случившихся в Объединенной Республике Камерун, расположенной в западной, экваториальной зоне Африканского континента [1–5, 7–11]. Трагедии произошли на вулкано-кратерных озерах Монун и Ниос — двух из многочисленных озер вулканического происхождения, расположенных на территории Камеруна, Нигерии и других прилегающих к ним государств. В результате природных катастроф в Камеруне в общей сложности погибло около 2 000 и пострада-

* E-mail: shatalov@casre.kiev.ua



Рис. 1. Высокогорное вулкано-кратерное озеро Монун [3]

ло приблизительно 20 000 человек. Особенно трагические события произошли в августе 1986 г. на берегу озера Ниос, когда за считанные часы погибло 1 746 человек и много тысяч пострадало.

В августе 1984 года над озером Монун (рис. 1) неожиданно произошел взрыв газа. Образовалось облако углекислого газа убившего 37 человек и много животных [2, 3]. Ранним утром 16 августа 1984 г. группа местных жителей обнаружила на дороге, ведущей к озеру Монун мертвого мотоциклиста, погибшего при загадочных обстоятельствах. Столпившееся вокруг него прохожие вскоре почувствовали удушливый запах, один из них тут же потерял сознание и скончался на месте, другие же попытались спастись бегством и укрыться в ближайшей деревне. Однако сделать это не успели и также погибли. В это время возле озера остановился проезжавший мимо грузовой автомобиль. В открытом кузове находилось двенадцать человек. В этот момент их накрыло облако углекислого газа. Никто из них не выжил. В 10.30 на место происшествия прибыли врач и полицейский. Они обнаружили на дороге, ведущей к озеру Монун, 37 трупов людей и многочисленные трупы животных. Неподалеку над дорогой висело похожее на дым белое облако длиной около двести метров. Пока облако не рассеялось, им пришлось прекратить обследование места трагедии, — газ вызывал горечь во рту, головокружение и рвоту. Позже, осмотрев трупы, врач и полицейский установили, что изо рта и носа погибших перед смертью текла пенящаяся кровь и слизь, а тела застыли в судорогах. На коже были химические ожоги первой степени, однако одежда была цела. Трава и кустарник между дорогой и озером были выжжены, животные погибли. Врач первым предположил,

что мотоциклист и другие местные жители погибли от удушья еще до рассвета, попав в загадочное ядовитое белое облако. Опрос жителей ближайшей деревни показал, что накануне за полчаса до полуночи многие из них слышали громкий взрыв, донесшийся со стороны озера Монун, но не придали ему особого значения. Туристы сообщили, что 15 августа они ощутили слабое землетрясение.

Итак, ночью произошло землетрясение, затем раздался взрыв, и все стихло, а ранним утром вблизи озера Монун были обнаружены многочисленные трупы людей и животных. А 17 ноября 1984 г. вода в озере окрасилась в красно-коричневый цвет. Красно-коричневая окраска воды свидетельствует о поступлении из глубин в верхние участки озера большого количества солей двухвалентного железа, которое, окисляясь при соприкосновении с атмосферным воздухом, выпадает в осадок. Высокогорное озеро Монун расположено в сейсмоопасной зоне западной провинции Республики Камерун, в пределах вулканического поля Оку, вблизи крупнейшего в Африке и действующего стратовулкана Камерун. Озеро образовано водами, заполнившими кратер потухшего вулкана. Его глубина — 95 метров.

Приглашенные из США вулканологи Х. Сигурдссон и Дж. Девайн (H. Sigurdsson, J. Devine), обследовав озеро, пришли к следующим выводам: озеро Монун образовалось в кратере одного из многочисленных в этом районе Африки вулканов [11]. Кратер вулкана находится на дне озера и его диаметр составляет 300 м. Вулканические газы могли вырваться из кратера на поверхность озера и образовать над ней удушливое облако. Химический анализ воды показал очень высокое содержание ионов бикарбоната и двуокиси углерода в глубинных частях

озера. И хотя изотопный анализ углерода, подтвердил его вулканическое происхождение, идея внезапного извержения вулкана была отвергнута в связи с тем, что в придонных водах обнаружено лишь незначительное количество серы, галогенов и других химических веществ, характерных для высокотемпературной вулканической активности. В глубинах озера обнаружена также очень высокая концентрация ионов двухвалентного железа и большое количество сидерита (FeCO_3) в донных осадках. По мнению американских вулканологов, выброс диоксида углерода в атмосферу не был результатом спонтанного вулканического выброса, — газ постепенно скапливался на дне озера. Вода в глубоководном озере имеет четкую слоистую структуру, т. е. стратифицирована: холодные и плотные слои у дна, а более теплые и менее плотные — у поверхности.

На вопрос о том, как же образовалось ядовитое облако, вулканологи ответили, что, по их мнению, что-то нарушило стратификацию вод озера и насыщенные бикарбонатом глубинные воды поднялись к поверхности. Внезапное падение давления вызвало бурное выделение диоксида углерода, т. е. примерно также как выделяется газ из откупоренной бутылки шампанского. В результате выброса газов на поверхности озера Монун образовалась пятиметровая волна, которая обрушилась на берег и повалила деревья. Вырвавшийся на поверхность газ образовал облако, которое было вынесено ветром на дорогу. Поскольку диоксид углерода тяжелее воздуха, облако, стало стелиться по поверхности Земли вблизи озера. Очевидно, ночью и в предрассветных сумерках люди не видели облака, а днем, из-за наличия в нем окислов азота, оно стало видимым. Эти окислы и могли вызвать химические ожоги на телах погибших людей.

Причины, породившие высокую волну, несмотря на сообщения туристов о землетрясении и обнаруженных оползневых процессах на подводном склоне кратера, вулканологи, на наш взгляд, объяснили весьма неудовлетворительно. Они предположили, что волнение воды на озере мог вызвать ветер. Специалисты-вулканологи предупредили камерунцев, что подобные катастрофические процессы могут происходить не только на озерах Монун и Киву, но и на многих других озерах Камеруна, образовавшихся в кратерах вулканов.

Похоронив жертвы стихийного бедствия, камерунцы вскоре позабыли о трагических событиях, разыгравшихся на озере Монун 16 августа 1984 г., и о предостережениях вулканологов. И вот, почти два года спустя, природа вновь грозно напомнила о себе, а камерунцы, к большому сожалению, и в этот раз были застигнуты врасплох.

21 августа 1986 г. мир облетело новое трагическое сообщение о природной экологической катастрофе в Камеруне. СМИ сообщали, что в результате внезапного выброса удушливых газов со дна высокогорного озера Ниос (рис. 2) [12, 13] погибли и пострадали тысячи людей — жители поселков, расположенных вокруг озера на расстоянии до 30 км (рис. 3). На пастбищах и подворьях также погибли тысячи коров, овец, собак, кошек (рис. 4). Во время этой катастрофы было высвобождено 1.2 км^3 углекислого газа. После дегазации голубая вода на озере Ниос приобрела красно-бурый цвет (рис. 5–7), так как обогатилась солями железа, поднявшимися из глубин и окислившимися в воздухе. Уровень воды в озере понизился на один метр, деревья на берегу оказались поваленными, так как выход газа произошёл чрезвычайно быстро и был похож на взрыв. Газ,



Рис. 2. Вулкано-кратерное озеро Ниос и горный рельеф с высоты птичьего полета [4, 5]



Рис. 3. Жертвы эколимнологической катастрофы — люди [9]



Рис. 4. Жертвы эколимнологической катастрофы — животные [4, 5]

растекаясь от озера по горному склону и ложбинам двумя мощными потоками, распространился на расстояние до 27 км, убив всё живое на своём пути.

Высокогорное пресноводное озеро Ниос расположено в Северо-Западной провинции Камеруна, недалеко от границы с Нигерией, в 100 км от озера Монун и в 315 км от г. Яунде — столицы Камеруна с населением 2,5 млн чел. В отличие от озера Монун,

водоём Ниос находится на противоположном склоне горного хребта. Он расположен на высоте 1 091 м над уровнем моря. Его максимальная глубина достигает 210 метров. Длина — около 2 км, ширина — 1,2 км. Площадь водной поверхности озера Ниос составляет около 1,6 км².

Сразу же после трагедии на озере Ниос правительство Камеруна пригласило группу экспертов из



Рис. 5. Озеро Ниос до экологической катастрофы. Вид с юга – с противоположной стороны плотины [4, 5]



Рис. 6. Озеро Ниос после выброса газового облака в 1986 г. Вид с юга – с противоположной стороны плотины [4, 5]



Рис. 7. Фрагмент озера Ниос до и после выброса газового облака в 1986 г. [4, 5]

Управления геологической службы США. В ее состав вошли вулканологи, геологи, геохимики и гидрогеологи. Группа экспертов, возглавляемая геологом Дж. Локвудом (J. Lockwood) и геохимиком М. Татлом (M. Tuttle), опросила оставшихся в живых очевидцев данной природной трагедии. Многие из них рассказали, что сначала они слышали звук взрыва, донесшийся со стороны озера Ниос, а вскоре вблизи озера были найдены мертвые тела людей и животных [7–11]. В ближайшем поселке Ниос из 700 жителей в живых осталось лишь четверо счастливых. Один крестьянин, например, спасся чудом. Почувствовав удушье, он инстинктивно окунул голову в ведро с водой, а когда через минуту-другую подняв голову, увидел, что все члены его семьи мертвы. Из всех людей, накрытых удушливым белым облаком спаслись лишь те, кто, почувствовав удушье, на короткое время старались не дышать, или оказались в случайно образовавшихся “воздушных карманах”, или находились на сравнительно возвышенном участке этой горной местности. По свидетельству очевидцев и экспертов сразу после взрыва верхний, десятиметровый слой воды в озере Ниос окрасился в красно-бурый цвет (рис. 8), а содержание диоксида углерода достигло весьма высокого уровня. Его пассивное выделение с поверхности озера продолжалось несколько суток, увеличивая

число жертв в низинных местах региона. Раньше жители не замечали подъема газовых пузырей со дна озера. Один свидетель упоминал о светящемся облаке, стоящем некоторое время над водой перед катастрофой. Другой утверждал, что видел высокую волну, захлестнувшую полуостров на северном берегу озера. Согласно еще одному очевидцу листья растений и скальные выступы горных пород на берегу озера, на следующий день после катастрофического явления, покрылись белым налетом, который смыл дождь, прежде чем удалось взять пробы.

Ландшафтное обследование показало, что плотность и скорость движения смертоносного облака были столь высоки, что в некоторых участках оказались поваленными кукурузные и банановые насаждения. Местонахождение трупов людей и животных указывает, что облако удушливого газа, стремительно двигалось от своего источника через седловины в окружающем озеро горном гребне и заполняло понижения в рельефе. Облако не поднималось выше 100 м над уровнем водоема. При этом оно стремительно (со скоростью до 100 км/час) двигалось в двух противоположных направлениях — западном и северо-восточном. Поскольку при комнатной температуре газ CO_2 в 1,5 раза плотнее воздуха он быстро перемещался вдоль долин. Так, один из “язычков” газового облака, двигаясь на запад, заполнил долину реки Ча на



Рис. 8. После выброса CO_2 вода в озере Ниос приобрела красный цвет [4, 5]

расстоянии 25 км и убил почти всех находившихся там людей и животных. Другой — двигавшийся по долинам балок и рек в северо-восточном направлении, быстро достиг поселка Ниос, что явилось причиной гибели почти всех его жителей. Также как и на озере Монун, причиной гибели людей и животных здесь явилось облако, состоявшее почти полностью из диоксида углерода. Следов присутствия метана в нем не установлено. Спустившись в долины рек облако диоксида углерода, вытеснило кислород из воздуха, что явилось причиной гибели не только людей, домашних животных, но и всех живых организмов. Чувствовавшийся местными жителями в течение двух суток запах тухлых яиц и пороха (что свидетельствует о присутствии в выбросах сероводорода) по мнению экспертов был следствием галлюцинаций, связанных с отравлением CO_2 . Вывод сделан потому, что высоких содержаний серы в водах озера не обнаружено. По мнению экспертов, поражения кожи у людей вызваны не сернистыми ожогами, а пребыванием в бессознательном состоянии возле огня.

В 1999 году в Камерун прибыла интернациональная группа ученых, чтобы исследовать смертоносное озеро Ниос и, если получится, найти способ дегазации ядовитого газа, накапливающегося в глубине. В результате, проведенных экспедициями из Италии, Франции, Японии, Нигерии, Швейцарии, США и Великобритании обследований, было установлено, что по берегам озера Ниос также пострадала растительность: листва покрылась коричневой пленкой, кое-где листья почернели и съезжились, словно от холода. Был сделан вывод что, выделившийся из недр озера газ, расширяясь, охладился и как бы приморозил листву. Известно, что выделение растворенной в воде двуокиси углерода идет с поглощением энергии и, соответственно, вызывает похолодание. В данном случае похолодание могло составить 10 градусов.

В отношении причин взрыва газа на озерах Ка-

меруна, мнения ученых разделились [7–11]. Одни считали, что озеро сыграло главную роль в накоплении CO_2 , (“гипотеза извержения лимона»), другая группа полагала, что причиной катастрофы было вулканическое (фреатическое) извержение со дна озера (вулканологическая или фреатическая гипотеза).

Для проверки выдвинутых гипотез было решено взять пробы из глубин озера Ниос. Первые попытки взять химические пробы глубинных вод оказались неудачными: общее давление растворенного газа на удна составляло 1.06 МПа (10.5 атм.), что на 50% превышало гидростатическое давление 2.1 МПа (21 атм.); при подъеме сосуды взрывались из-за высокого давления содержащихся в них газов. Подъем удался лишь при замедленном темпе подъема сосудов с открытым клапаном. Анализ на месте показал, что растворенные газы на 99.6% были представлены CO_2 , кроме того, в пробах содержались метан и небольшое количество гелия. Выполненный в лабораторных условиях немецкими учеными анализ позволил заключить: сразу после катастрофы в водах озера содержалось около 250 миллионов кубических метров CO_2 [7–11]. Изотопный состав кислорода и углерода подтверждает, что газы поступили сюда, просачиваясь из глубин Земли. Новые измерения, сделанные уже в апреле 1992 года, говорят, что CO_2 продолжает поступать в озеро — около пяти миллионов кубических метров год. В 90-е годы прошлого столетия был разработан проект дегазации, но удаленность от промышленных центров усложняет задачу: тщательно изучить, а тем более дегазировать озеро в спешном порядке невозможно. Хотя крупный проект дегазации существуют, средств на его реализацию нет. Не помогло собрать их даже содействии ЮНЕСКО. Ведь благотворительным организациям привычнее исправлять последствия уже свершившихся катастроф, а не предотвращать их. И лишь



Рис. 9. Дренажные фонтаны на озере Ниос, установленные в 2003 г. Вид с юга [4, 5]. Буряя вода в озере — свидетель активности процессов на озере на протяжении 30 лет после эколимнологической катастрофы



Рис. 10. Дренажный фонтан на озере Ниос — дегазация в 2006 году [4, 5]

в 2003 году в озерах Монун и Ниос были уставлены насосы и вентиляционные трубы (рис. 9, 10), чтобы предотвратить повторение стихийного бедствия.

Результаты обследования озера Ниос, проведенные группой американских специалистов [7, 10, 11] показали, что озеро заполняет вулканический кратер и имеет в глубину до 220 м. Причем, по мере удаления от берега глубина озера резко возрастает от 40 м до 220 м. На плоском дне кратера впадающие в озеро ручьи образуют два каньонообразных русла глубиной 15 м и шириной 100 м, сливающиеся вместе в 500 м от берега. Никаких нарушений в отложившихся на дне осадочных породах в процессе исследований не обнаружено. Образцы осадочных горных пород, поднятых со дна озера, относятся к кластическим. Они окрашены в темно-коричневый цвет, серного запаха не имеют. Озеро характеризуется четкой стратификацией вод. Температура воды в озере после трагедии почти по всей толще составляла около 22°C. Вода в озере прозрачна и содержит большое количество солей двухвалентного железа, которые при соприкосновении с воздухом выпадают в осадок красно-бурого цвета. Концентрация бикарбоната-иона высока — 722 мг/л, однако РН составляет около 5.15. Поверхностный слой воды сравнительно хорошо насыщен кислородом, но уже глубже 10 м кислорода в воде очень мало.

Эксперты считают, что CO_2 имеет магматическое, а не биогенное или вулканическое происхождение. В последнем случае температура воды в озере резко бы возросла. В воде также были бы обнаружены следы серы и хлора. Датирование с помощью изотопа ^{14}C позволяет считать, что возраст растворенного газа превышает 35 тысяч лет, тогда как само озеро и органические осадки в нем, вряд ли старше нескольких сотен лет. Изучение изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$ также говорит в пользу магматического происхождения газа. По мнению экспертов CO_2 поднялся из магматических пород, находящихся на глубине свыше 90 км, и насытил часть магматического рас-

плава. По мере подъема этого расплава к поверхности Земли могла произойти его резкая дегазация и газ гигантским пузырем вырваться наружу. Высказано предположение, что часть CO_2 могла постепенно накапливаться в подземных водах, доведя в конце концов придонные воды озера Ниос до насыщения. В некоторых родниках и ручьях по соседству с озером отмечено высокое содержание CO_2 ; в одном из них концентрации основных ионов такие же, как и в озере, что указывает на их общий источник. Исследования показали, что сразу после катастрофы придонные воды озера Ниос все еще на 30% были насыщены CO_2 . Такая концентрация CO_2 , по мнению экспертов, может представлять новую опасность для жителей страны.

Завершив обследование места трагического события, ученые установили, что причиной гибели людей и животных на озере Ниос явилось облако диоксида углерода, которое вырвалось со дна озера, а затем спустилась в долину, вытесняя кислород из воздуха и уничтожая все живое на своем пути. Изучив этот необычный выброс, эксперты сделали лишь предварительный вывод о возможных причинах появления диоксида углерода и предостерегли камерунцев о вероятности новых экологических катастроф. Окончательных выводов о первопричине выделения газов со дна озера, его источнике и механизме процесса, американские специалисты не сделали. Свидетельств вулканических или сейсмических явлений, которые прямо могли привести к катастрофе, по их мнению, нет. Нужно отметить, что ближайший от места трагедии сейсмограф находился тогда в 150 км от озера. Предположение о том, что из недр сквозь дно внезапно прорвались разогретые вулканические газы, экспертам кажутся маловероятными. Об этом свидетельствует ненарушенность слоев в донных осадках, низкие температуры воды в придонном слое озера и равномерное их распределение после катастрофы. Озеро обладает четкой стратификацией вод, что и позво-

лило большому объему CO_2 накапливаться в придонном слое. Возможно медленное просачивание низкотемпературных магматических газов, насыщенных CO_2 , в итоге завершилось резким его выбросом на поверхность в виде “пузыря” в момент, когда концентрация диоксида углерода в придонном слое озера Ниос превысила предел его растворимости. Толчком, вызвавшим внезапное нарушение стратификации вод, выброс облака токсичного диоксида углерода, по мнению экспертов, могли служить обильные ливни или волны, вызванные штормовым ветром, или падение температуры в приповерхностном слое, или падение барометрического давления, или оползень. Других свидетельств резкого подъема диоксида углерода из глубинных частей озера Ниос ими не обнаружено.

В связи с уникальностью описываемого в северо-западном Камеруне через год после трагедии обследовано 31 кратерное озеро. Было выявлено, что, многие из них возникли совсем недавно — на протяжении последних нескольких сотен лет. В 17 из них были взяты пробы воды и выполнен их химический анализ. Установлено, что только в озерах Ниос и Монун содержатся большие объемы растворенного диоксида углерода, что свидетельствует о специфичности и высокой опасности в будущем именно от этих озер.

Американские специалисты указали еще на одну потенциальную опасность, в частности на непрочность естественной плотины (рис. 11) подпирающей озеро Ниос. Плотина, возникшая около 400 лет тому назад, сложена отложениями рыхлого вулканического пепла, выброшенного вулканом Ниос. Вначале ее высота достигала 200 м, а сейчас в результате эрозии она не превышает 48 м (рис. 12), и разрушается со скоростью 1.5 м в год. По данным ученых, перемычка долгое время исподволь подта-

чивалась водой и теперь находится “на последнем издыхании”. Утечка воды из озера происходит через верхнюю часть плотины (рис. 13). В сезон дождей сброс воды через плотину в долину реки Кацина происходит более интенсивно. Ниже вода течет по скальным породам, образуя 40-метровый водопад (рис. 14). На водосборе плотины в ее самой узкой точке и ниже водосброса большие валуны указывают на более ранние обвалы грунта, в результате чего водопад отступает. Вероятность прорыва увеличивается за счет эрозии как наверху, так и в основании плотины, а также из-за гидрогеохимической эрозии трубопроводов.

По расчетам Дж. Коста (J. Costa), объем воды в озере составляет более 50 млн.м³ [1, 2]. В случае обрушения плотины скорость истечения воды из озера Ниос составит 17 тыс.м/сек., а образованный при этом вал воды высотой 20 м, ринется вниз, в долину реки Кацина. В результате этой природной экологической катастрофы поток из озера пересечет также границу Камеруна и вторгнется в густонаселенную долину Беню (Нигерия). На своем 150-километровом пути он приведет к большим разрушениям и человеческим жертвам. Не исключено, что в этом случае смертоносное облако CO_2 вновь сможет вырваться наружу и привести к новой трагедии.

Итак, широко известную природную эколимнологическую катастрофу в Камеруне изучали специалисты из США, Италии, Франции, Японии, Нигерии, Швейцарии, Германии и Великобритании. Однако, по мнению автора, никто из них не смог выдвинуть удовлетворительную версию, объясняющую причины и механизм уникальных выбросов углекислого газа на озерах Монун и Ниос в 1984 и 1986 году. Выводы американских экспертов также оказались неполными и, недостаточно аргументированными, а иногда и противоречивыми, что, ко-



Рис. 11. Вулкано-кратерное горное озеро Ниос. Вид с севера — со стороны плотины [8]



Рис. 12. Фото плотины озера Ниос [8]



Рис. 13. Естественный сток из озера Ниос по плотине [8]

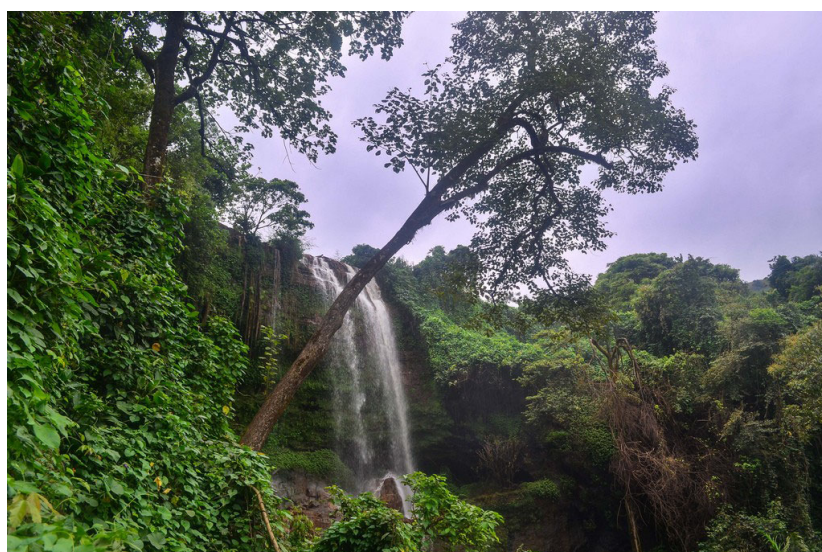


Рис. 14. Естественный водопад с плотины озера Ниос [8]

нечно же, не способствует научному прогнозу возможных катастроф в будущем. Эксперты, на наш взгляд, мало внимания уделили геологической, тектонической и сейсмотектонической обстановке в момент трагедии на озерах-убийцах в Камеруне. Прикоснуться к загадке природы и сделать попытку разгадать ее необыкновенный феномен является целью настоящей статьи.

Структурно-геологические, географические и тектонические особенности региона

Прежде всего, необходимо подчеркнуть, что природа, рельеф, геологическое и тектоническое строение республики Камерун весьма разнообразны. Камерун — это, преимущественно, горная страна (“Высокая Африка”). Рельеф сильно расчленен (рис. 15). Преобладают плоскогорья, в меньшей степени — горы, нагорья и низменности. Береговая

низменность, простирающаяся вдоль Атлантического океана, сравнительно узка. Над береговой низменностью крутыми уступами поднимается плоскогорье Камерун, разделенное долиной реки Санага. Средние высоты Камерунского плоскогорья — около 1 км над уровнем моря. От реки Санага, в южном и юго-восточном направлении, простирается лишь Южно-Камерунское плоскогорье, а к северу — плоскогорья, нагорья и горы Адамава. Северо-Камерунское плоскогорье пересекается сравнительно длинной дугообразной горной цепью нередко с острыми вулканическими вершинами и узкими, каньонообразными впадинами. Нагорья здесь имеют высоты до 1.8–2.0 км, а горные вершины поднимаются до отметок 2.3–2.7 км. Самая высокая вершина горной цепи — Бамбуто (2 710 м). Сравнительно молодые (мезо-кайнозойские) горы Адамава, состоят из ряда горных массивов с лавовыми покровами и конусами потухших вулканов. Местность здесь нередко напоминает лунный пей-

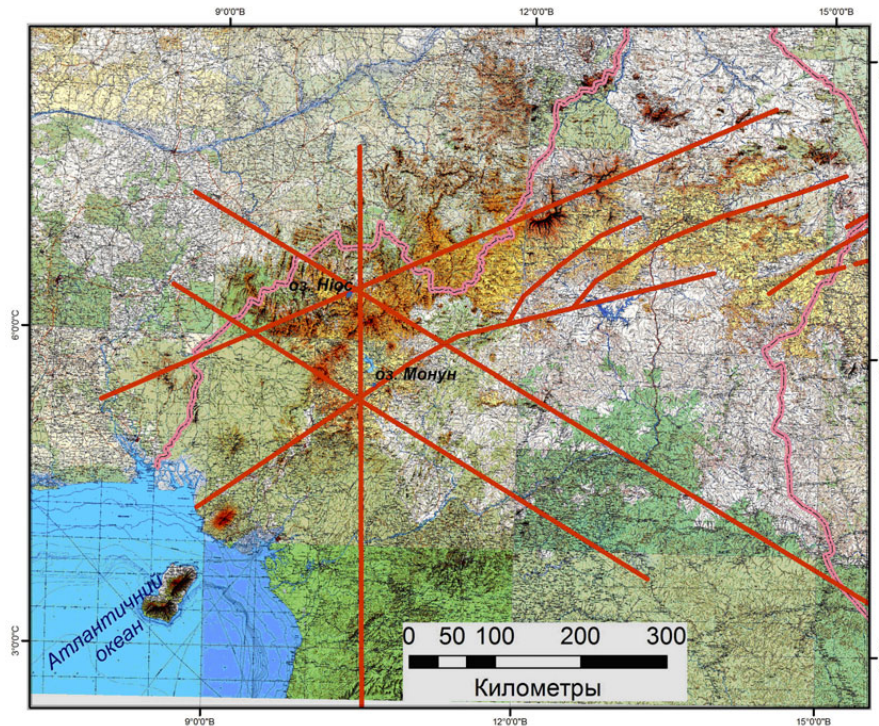


Рис. 15. Расположение главных разломных зон (по автору статьи), озер Ниос и Монун на географической карте Камеруна

заж. Обилие вулcano-кратерных озер на высотах 1.5–2.5 км над уровнем моря — одна из специфических черт Камерунской горной цепи, являющейся своеобразным вулcano-тектоническим швом в теле древней платформы.

В геологическом строении описываемого региона принимают участие древние докембрийские кристаллические горные породы (граниты, гнейсы, кварциты, базальты, диабазы и др.), возраст которых превышает 1.5 млрд лет и, сравнительно молодые осадочные и вулканогенные породы палеозоя, мезозоя и кайнозоя (рис. 16, 17). Они сформировались в течение последних 400 млн лет геологической истории африканского континента. Кристаллическими породами в Камеруне сложены, как правило, плоскогорья, осадочными — низменности, а осадочно-вулканогенными — нагорья и горы. Вся территория Камеруна располагается в пределах одного из западных, экваториальных участков древней Африканской платформы, расчлененной глубинными разломами на отдельные геоблоки, где кроме древних кристаллических горных пород, наблюдаются обнажения молодых осадочно-вулканогенных пород. Обнажения коренных докембрийских пород приурочены преимущественно к речной сети, где эрозия “пропилила” в них глубокие каньонобразные долины. В долинах рек обнажаются гранулитовый комплекс архея и два зеленосланцевых псаммо-пелитовых комплекса протерозоя. В южной части Камеруна выделены три главных метаморфических комплекса докембрия, расположенных между крупными архейским кратоном Конго

на юге и “мобильной” панафриканской областью на севере, развитие которой закончилось в самом конце позднего протерозоя (около 600 млн лет тому назад).

Тектоническое строение Камеруна и прилегающих стран довольно сложное и в основном предопределяет главные черты рельефа. Если взглянуть на физико-географическую карту Камеруна, Нигерии, республики Чад и Центрально-Африканской республики то можно увидеть, что крупные реки Санага и Бенуэ расположены друг от друга на расстоянии приблизительно 500 км. Эти реки текут в юго-западном направлении к Атлантическому океану, а крупная и судоходная река Шари (с притоком Лагоне) в глубине Африканского континента — в северо-западном и впадает в озеро Чад. Поскольку почти все крупные и прямолинейные реки нашей планеты приурочены к ослабленным разломным тектоническим зонам, то весьма вероятно, что реки Санага, Бенуэ и Шари окаймляют собой грани крупного докембрийского мегаблока земной коры размерами 1000 × 500 км. Между реками Санага и Бенуэ, т. е. примерно в центре водораздельного пространства, расположена горная цепь Адамава. Несомненно — горы Адамава приурочены к фрагменту крупнейшего планетарного глубинного разлома нашей планеты, простирающегося на юго-запад от г. Тель-Авив (Израиль) в направлении г. Каир (Египет), г. Виктория (Камерун) и далее в Атлантический океан, где горная цепь трассируется еще на расстоянии не менее 700 км. Данный планетарный докембрийский разлом-шов в геологическом про-

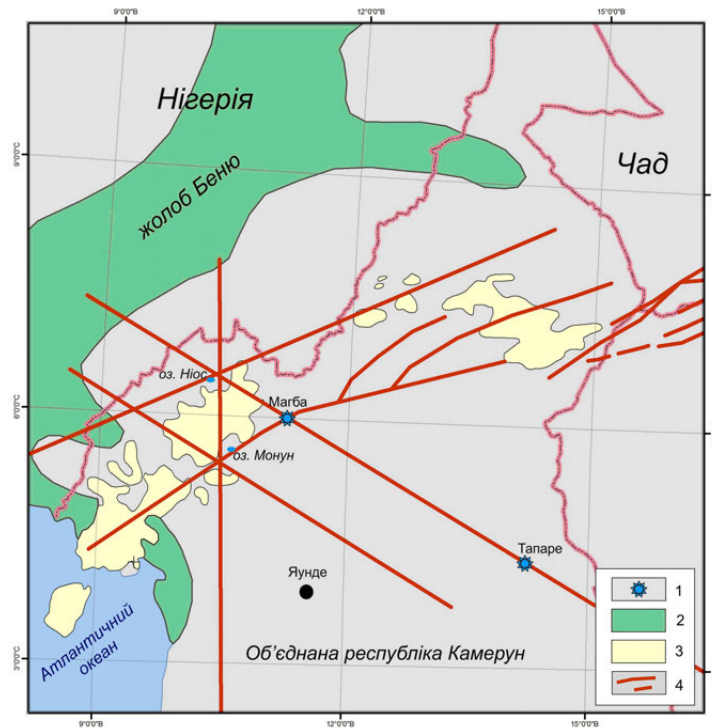


Рис. 16. Схема геологического строения и разломно-блоковая тектоника района озер Ниос и Монун. Составил автор с использованием материалов исследователей Камеруна.
1 — эпицентры землетрясений; 2 — осадочные породы мела; 3 — третичные вулканические породы; 4 — зоны тектонических разломов (сбросов, взбросов, сдвигов)

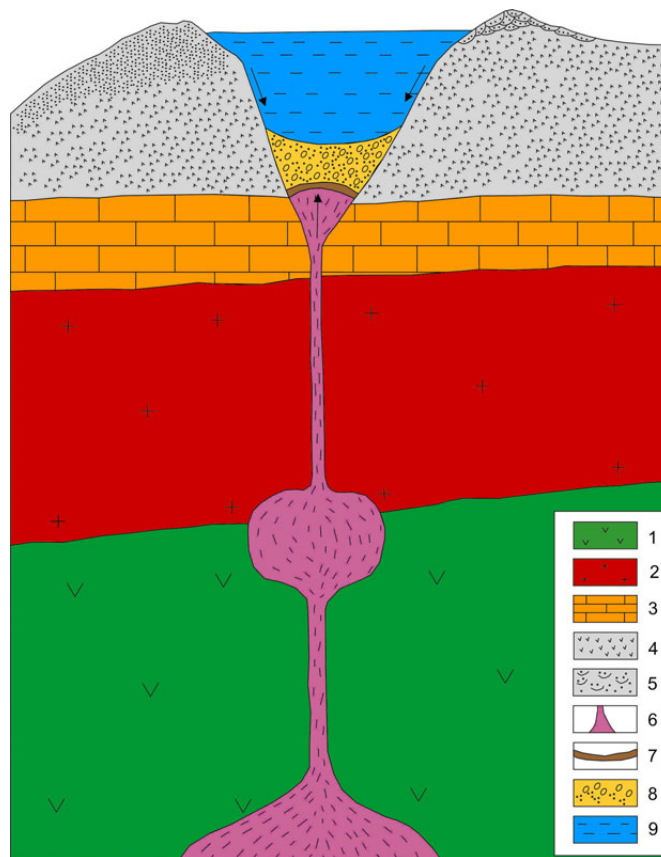


Рис. 17. Схематический геологический разрез участка вулcano-кратерного озера Ниос (Камерун). Составил автор.
1 — базальтовый слой земной коры; 2 — гранитный слой земной коры; 3 — осадочно-вулканогенные породы фанерозоя; 4 — рыхлый пепел вулкана; 5 — лавовые потоки вулкана; 6 — магматические очаги и подводящий канал вулкана; 7 — метаногидратный слой в жерле вулкана; 8 — донные осадки вулcano-кратерного озера Ниос; 9 — вулcano-кратерный водоем Ниос

шлом был чрезвычайно активен. Во-первых, он рас-секал древнюю Африканскую платформу на две гигантские глыбы. В настоящее время в их пределах расположена Северная и Западная Африка с одной стороны, Центральная и Южная — с другой. Во-вторых, этот разлом был чрезвычайно активен в палеозое, мезозое и кайнозое. Участок докембрийской литосферы, где в настоящее время расположена Республика Камерун, приблизительно 400 млн лет назад по описываемому планетарному разлому-шву испытал значительные поднятия и опускания. Так, в фундаменте и осадочно-вулканогенном чехле здесь были сформированы горсто-грабенные участки земной коры. Разнонаправленные разломно-блоковые тектонические движения с амплитудой до нескольких километров сопровождалась в описываемом регионе разрывами докембрийской литосферы и мощными излияниями вулканических лав различного состава и возраста.

Активизация тектонических движений в мезо-кайнозое привела к формированию на древнем докембрийском цоколе молодой горной цепи, возраст которой можно оценить в 200 млн лет. Эта мезо-кайнозойская горная цепь отчетливо выражена в Камеруне, а часть ее в настоящее время оказалась под водами Атлантического океана. Камерунская горная цепь, протягивающаяся от Атлантики до Центрально-Африканской расщелины (рифта), расчленена глубинными разломами ортогональной и диагональной ориентировки. Наиболее выраженными здесь являются разломы северо-восточного (45–50°) и северо-западного (315–320°) направления. Эти разломы являются фрагментами диагональной

разломной сети нашей планеты. Подчиненное значение здесь играет ортогональная система разломов, ориентированная вдоль меридианов и параллелей. Важно то, что глубинные разломы диагональной и ортогональной системы расчленяют упомянутый выше крупный (1 000 × 500 км) докембрийский мегаблоклитосферы на более мелкие геоблоки. Эти разломы в настоящее время ярко выражены в тектоническом ансамбле вулканической горной гряды Адамава, где возникли вулкано-кратерные горные озера Ниос и Монун.

Долины рек и их притоки приурочены здесь преимущественно к разломам древней диагональной системы, активизированной и в настоящее время. Плановый рисунок гидросети как бы фиксирует ландшафтно-объемный каркас тектонических структур ромбовидного типа.

Анализ особенностей геологического строения, тектоники и геодинамики в историческом аспекте свидетельствует о том, что тектоно-магматическая активизация в регионе происходила не только в триасе, мелу, палеогене, неогене, но и в антропогене (рис. 18). Активно протекают в Камеруне и современные тектонические и вулканические процессы, “залечивающие” собой раны Земли. В частности, поднятия и опускания геоблоков по глубинным разломам ортогональной системы вблизи Атлантического океана в настоящее время активно способствуют выпрямлению береговой линии Гвинейско-Камерунско-Нигерийского побережья. Достаточно белого взгляда на географическую и тектоническую карту Африки чтобы убедиться в том, что очертания Гвинейско-Камерунского побережья Атлан-



Рис. 18. Субвертикальные зеркала скольжения в скальных горных породах берега озера Ниос, свидетельствующие о тектонических сбросах [4, 5]

тики активно формируется субмеридиональной и северо-западной системой разломов, а Нигерийско-Камерунское — субширотной. Происходящие в современную геологическую эпоху погружения и поднятия отдельных частей побережья Камеруна свидетельствуют об активизации в наши дни тектонических процессов вдоль фрагментов глубинных разломов, по которым и происходят разнонаправленные движения геоблоков земной коры. Поэтому, на побережье Камеруна можно наблюдать и подтопленные берега, и затопленные устья рек (эстуарии) и воздымающиеся над морем (до 20 м) скалистые берега, где обнажаются древнейшие кристаллические горные породы, слагающие древнюю Африканскую платформу.

Проведенный автором анализ тектоники и геологии Камеруна свидетельствует о том, что вулканократерные озера Ниос и Монун расположены в пределах 700-километрового камерунского участка вулканической горной цепи Адамава, протянувшегося затем еще на 700 км через Южную Атлантику до островов вулканического происхождения Аннобон. Камерунская вулканическая цепь, ее глыбовые нагорья и вулканократерный ландшафт формировались в течение последних 200 млн лет развития Земли. Камерунская цепь простирается в северо-восточном направлении и представляет собой зону тектонически ослабленной земной коры, где вулканические возвышенности чередуются с впадинами, расщелинами и другими формами рельефа. Интенсивные вулканотектонические процессы протекали здесь с триаса по настоящее время. Например, в триасе, т. е. примерно 200 млн лет назад, в пределах этой вулканической цепи активно извергались вулканы с магмами щелочного состава. В последующем, вулканы извергали лавы ультраосновного, основного (базальты) и кислого (граниты) состава. Как известно из петрологии, излияния ультраосновных и щелочных лав — яркое свидетельство того, что магмоподводящие глубинные разломы рассекали литосферу и проникали в мантию до глубин более 200 км.

Как видно на рис. 15 и 16 крупные ареалы массивов магматических горных пород протягиваются от Атлантического океана до республики Чад и Центрально-Африканской республики. В зоне описываемой вулканической цепи находится множество потухших и “спящих” вулканов и лишь один — действующий. Он расположен в пределах вулканического массива “Камерун” и имеет аналогичное название — “стратовулкан Камерун”. В настоящее время он служит своеобразным маяком для судов, приближающихся к берегам республики Камерун. Высота этого горного сооружения примерно 4 040 м. В геологической литературе ее иногда оценивают в 4 070 и 4 095 м, однако эти цифры не совпадают с результатами миссии шаттл “Индевор” по высокоточной радарной съёмке рельефа Земли, выполнен-

ной в феврале 2 000 г. Согласно полученным данным, высота вулкана составляет не более 4 029 м.

Вулкан Камерун расположен на северо-западном побережье Гвинейского залива, в 275 км к юго-западу от вулканократерного озера Ниос. Последние извержения наблюдались в октябре-ноябре 1982 г. и в 2 000 году. Вулкан Ниос извергался в сравнительно недавнем историческом прошлом — приблизительно 400 лет назад. Об этом свидетельствуют застывшие лавовые потоки, пирокластические отложения, включающие большое количество обломков ультраосновных горных пород (перидотитов), обнажающихся на северо-восточном берегу озера (см. рис. 17).

Камерунский участок вулканической цепи является весьма сейсмоактивным. В частности, два ощутимых землетрясения здесь были отмечены в 1983 г. Эпицентр данного землетрясения находился на расстоянии 80 км от озера Монун и в 100 км от озера Ниос. Эпицентр был приурочен к Фумбанскому глубинному разлому (сдвигу, сросо-сдвигу). В Камеруне, Гвинее и других приморских странах Атлантики серии мелких землетрясений фиксировались также в 1945 и в 2017–2018 гг. Их привычно воспринимали как усиление сейсмической активности в зоне разлома, увенчанном действующим стратовулканом Камерун. По сейсмическим наблюдениям, начатым в Камеруне в 1984 г., в среднем каждые трое суток происходит два слабых толчка. В одном из пунктов данного региона отмечался “рой” землетрясений — около 16 толчков за 16 часов. Эти данные свидетельствуют о том, что горы здесь еще “живые” и постоянно растут, а описываемый участок земной коры находится в постоянном геодинамическом напряжении. Отдельные толчки или серии толчков, несомненно, разряжают возникающие в литосфере геодинамические напряжения. Поэтому время от времени здесь происходит “встряска” и разрывы земной коры, дифференцированные разломно-блоковые тектонические движения, проникновения из глубин литосферы к ее поверхности газово-жидких флюидов, оползневые и другие геологические процессы на поверхности. Все это, свидетельство того, что регион относится к весьма опасным в сейсмическом отношении. Вероятность сильных землетрясений тут довольно высока.

Рассматривая вопрос об источнике выброшенных из озера Ниос и Монун газов и механизме этого процесса, на наш взгляд, следует проанализировать достоверно установленные научные данные. В частности, вулканологам и геологам хорошо известно, что перед крупными вулканическими извержениями часто происходят землетрясения, а из кратеров вулканов с огромной силой выбрасываются газы, водяной пар, затем пепел с песком и обломки камней различного размера и лишь потом — изливается лава. Облака ядовитых газов, водяного пара, пепла и камней при этом выбрасываются на большие (20–30 км) высоты. Продукты извержения вул-

кана рассеиваются в атмосфере и затем тяжелым ливнем обрушиваются на поверхность Земли. Вблизи жерл или трещин возникают фумаролы — источники горячих газов и водяного пара. Газы, которые выбрасывают фумаролы, нередко выделяются из магм, расположенных на значительных глубинах в мантии и в промежуточных магматических очагах-камерах (см. рис. 17). Состав выделяемых при этом газов достаточно разнообразен. Главными компонентами являются H_2O , HCl , HF , SO_2 , CO , CO_2 , CH_4 , H_2S , He , H_2 и многие другие. Количество того или иного компонента в составе выделяющихся газов зависит от многих факторов — химического состава магмы, термодинамических условий, глубины магмоподводящих разломов и прочее. Преобладание в составе газов водорода в виде H_2O или H_2 , углерода в виде CO или CO_2 , по мнению многих ученых, свидетельствует о их глубинном происхождении, а, следовательно, и о большом давлении и достаточно высокой температуре — от 200 до 1 100°C. При значительном снижении давления и температуры (ниже 100°C) в фумаролах вблизи земной поверхности H_2O и CO_2 нередко преобладают над другими компонентами. Аналогичным образом, вероятно, происходило последнее извержение вулкана Ниос в Камеруне примерно 400 лет тому назад. Фумаролы, рыхлый пепел и раскаленные лавовые потоки изливались здесь из кратера вулкана и формировали его купол, который в последующем интенсивно разрушался. Очевидно, подводящий канал вулкана был тогда заполнен раскаленной лавой и закупорен ею. Однако, после затвердевания огненно-жидкого магматического расплава в канале вскоре образовались трещины — так называемые трещины контракции. Они возникают из-за уменьшения объема при остывании и кристаллизации магм. В последующие столетия после извержения вулкана Ниос тропические дожди и суховеи постепенно размывали склоны кратера и наполняли его водой. Значительные объемы воды при этом поступали в кальдеру вулкана из глубинных частей литосферы (см. рис. 17). Разрушенные частицы изверженных горных пород вместе с водой устремлялись вниз к подводящему каналу. Твердые частицы пород выпадали здесь в осадок, уплотнялись и цементировались поступающими из глубин Земли газомо-жидкими флюидами, содержащими диоксид углерода, гелий, водород, метан и др. Этот процесс закупоривания вулканического канала происходил с момента последнего извержения вулкана. В горах Адамава такой механизм формирования вулкано-кратерных озер Ниос, Монун и многих других наиболее вероятен.

В связи с этим становится очевидным, что на протяжении 400 лет в кратере вулкана Ниос происходило два главных, но противоположных процесса: из глубин мантии и низов литосферы по трещинам в вулканическом канале (представляющем собой природную трубу дегазации) в кратер поступали

восходящие струи низкотемпературных фумарольных магматических газов с одной стороны, а с другой — с вершинных частей кратера вниз устремлялись водные дождевые потоки и разрушенные экзогеотектогенезом частицы изверженных и вмещающих их горных пород. Под воздействием гравитации и физико-химических процессов осадки и фумаролы сформировали здесь своеобразную газогидратную пробку, которая на длительное время закупорила вулканический канал, представляющий собой трубу углекислотно-глубинной дегазации нашей планеты.

Можно предположить, что в 400-летний период относительного тектонического покоя вместе с осадочными отложениями на дне кратера Ниос одновременно формировался жесткий горизонт газогидратов (твердые соединения метана с водой), которые цементировали осадки и образовывали своеобразный панцирь, длительное время препятствующий проникновению газомо-жидких флюидов в атмосферу Земли. В состав флюидной массы входили вода, диоксид углерода, метан, в меньшей степени сероводород и другие компоненты. Газогидраты, несомненно, формировались здесь при низких температурах и сравнительно высоких давлениях, обусловленных весом придонных осадков и воды с одной стороны и, газового столба — с другой. Цементированные газогидратом придонные осадки по существу образовали мощный (до 50 м) панцирь, плотно закупоривший вулканический канал. Под твердым водопроницаемым панцирем, на наш взгляд, мог образоваться также напорный водоносный горизонт. Эта гигантская газогидратная пробка препятствовала постепенной пассивной циркуляции, т. е. оттоку в гидросферу и атмосферу диоксида углерода, поступающего из глубинных и промежуточных магматических очагов (см. рис. 17). Таким образом, под газогидратным панцирем озер Ниос и Монун, за сравнительно продолжительное время, скопился большой объем CO_2 . Выбросы значительных объемов газа могли иметь катастрофические последствия в случае интенсивного растрескивания газогидратного панциря. Другими словами, возможность выбросов из литосферы в гидросферу и атмосферу больших объемов смертоносного углекислого газа могла появиться лишь при геодинамической и сейсмотектонической активизации участка земной коры, где расположены вулкано-кратерные озера Ниос и Монун. Сейсмотектонические процессы способствовали разрушению газогидратного панциря и прорыву CO_2 через толщу воды к поверхности по активизированным в нем разломам и трещинам. При этом из-за перепада давления была нарушена стратификация осадочных и водных слоев, что вызвало резкий подъем насыщенных диоксидом углерода вод из глубины озера к поверхности. Перемещение газов и водных растворов в верхние слои сопровождалось декомпрессией, при

которой из раствора выделяется газообразный диоксид углерода. Вырвавшийся из глубин газовый “пузырь” высотой до 100 м образовал шестиметровую волну-цунами на поверхности озера Ниос и начал стремительно рассеиваться вокруг него, убивая все живое на своем пути. Если бы в районе озер были тогда установлены сейсмографы, то в момент экологической катастрофы они четко зарегистрировали бы сейсмотектонические толчки. Следовательно, спусковым механизмом катастрофы, т. е. толчком, вызвавшим внезапный и быстрый прорыв облака углекислого газа из глубин к поверхности, на наш взгляд, следует считать современные сейсмотектонические процессы, а не обильные ливни или штормовой ветер, как предполагали эксперты из геологической службы США [7–11].

О происшедших здесь геодинамических подвижках земной коры и “раскрытии” разломных зон свидетельствуют следующие данные. Во-первых, перед катастрофическими выбросами газовых “пузырей” на озерах Монун и Ниос местные жители и туристы ощущали подземные толчки и наблюдали некоторые необычные явления — гул, свечение, волнение воды в озере и др. Во-вторых, в стенке вулcano-кратерного озера Монун был зафиксирован оползень, а в озере Ниос, кроме того, и каньоны — своеобразные индикаторы сейсмотектонических подвижек земной коры (см. рис. 18). В-третьих, обнаружение высоких концентраций CO_2 в соседних с озером Ниос родниках и ручьях, четко указывает на их общий глубинный источник.

Итак, приведенные выше данные убедительно свидетельствуют о том, что истинными причинами природных катастроф в Камеруне в 1984 и 1986 гг. являлись современные разломно-блоковые тектонические движения, тесно связанные с гео- и сейсmodинамикой на одном из участков еще “живых” гор Адамава. Следовательно, главной причиной катастроф необходимо считать активизацию эндогенных процессов, происходящих в мантии и тектоносфере Земли в связи с процессами рото- и космогенеза. В приповерхностных частях земной коры горного сегмента “Адамава” современной геодинамикой обусловлены тектоно-магматические и сейсмотектонические процессы, извержения вулканов, образование вулcano-кратерных озер, т. е. формирование лика данного участка планеты. Именно они свидетельствуют о том, что в настоящее время здесь происходят интенсивные горообразовательные и теплогазобменные процессы, причины и механизм которых тесно связан с подъемом из мантии аномально горячего магматического материала и газо-жидких флюидов, содержащих CO_2 . Благоприятными транспортными путями для теплопереноса в земной коре, конечно же, являются вулканические каналы, а также сеть глубинных разломов и узлов их пересечения. Вулканические ка-

налы при этом, несомненно, следует рассматривать как специфические трубы дегазации нашей планеты. Выброшенный из глубин озер Ниос и Монун смертоносный диоксид углерода преимущественно является дифференциатом магматических расплавов, а последние в свою очередь, имеют мантийные корни, уходящие на глубину 200–300 км. Следовательно, вулcano-кратерные озера Монун и Ниос приурочены к “живым” глубинным разломам — зонам современной геодинамической и сейсмотектонической активности. Специфичность разломных зон растущих гор Адамава на участке где расположены озера состоит в том, что они вскрывают такие значительные глубины, где магмы, в качестве дифференциата, выделяют преимущественно диоксид углерода и водные растворы.

Анализ тектонических, структурно-геологических и космических данных свидетельствует о том, что озера Монун и Ниос расположены в узлах пересечения глубинных разломов северо-восточного простирания с субмеридиональным разломом (см. рис. 16). Именно этим фактом следует объяснить отсутствие диоксида углерода в других вулcano-кратерных озерах, сформированных в пределах гор Адамава.

Очевидно также, что описываемый регион уже много миллионов лет находится в напряженном геодинамическом состоянии, о чем свидетельствуют разнонаправленные тектонические подвижки земной коры, землетрясения, извержения вулканов и, в конечном случае, выбросы смертоносных газов из озер. При этом выбросы CO_2 на озерах Монун и Ниос по объему были неравнозначны. Если объем газового пузыря на озере Монун оценивался в $1\,000\text{ м}^3$, то объем газов, выброшенных из озера Ниос, по крайней мере был в десять раз больше, в связи с чем и масштабы экологической катастрофы здесь на порядок выше. Важно подчеркнуть, что вулcano-кратерное озеро Ниос расположено в наиболее раздробленном тектоническом участке горной гряды Адамава. Озеро характеризуется отвесными берегами и приурочено к узлу пересечения разломов диагональной и ортогональной систем, при ведущей роли глубинного разлома северо-восточного простирания. В связи с этим, озеро Ниос и простирается в северо-восточных румбах.

Анализ космической информации

На рис. 19 представлено изображение озера Монун полученное ИСЗ Landsat-7 в 2012 году. Общая конфигурация озера Монун напоминает “медвежонка с привязанной левой ногой”. Конфигурация береговой линии свидетельствует о приуроченности озера Монун к узлу пересечения разломов — фрагментов диагональной и ортогональной систем. Другими словами, отвесные береговые скалы здесь контролируются фрагментами разноориентиро-

ванных разломов, что в целом свидетельствуют о вулcano-тектоническом генезисе озера. Под покровом леса на космоснимке дешифрируется горное плато, изрезанное долинами, оврагами и каньонами, в юго-западной части — извилистая река, впадающая в озеро Монун, на северо-востоке — селение дугообразной формы и дорога, соединяющая его с озером.

На рис. 20 представлен космоснимок Ландсат-7 озера Ниос и его окрестностей. Разрешение — 15 м, дата съемки — 2.05.2001 г. На данном изображении видно, что рельеф вокруг озера горный, сильно расчленен. Горы состоят из ряда горных массивов с лавовыми покровами и конусами потухших вулканов. В юго-восточной части снимка дешифрируется интенсивно расчлененный горный хребет. Горы изрезаны долинами, оврагами и каньонами.

Рис. 21 представляет изображение озера Ниос полученное спутником Landsat 8 18 декабря 2014 года. На снимке хорошо дешифрируются вулканические

маары и базальтовые конусы. Озеро Ниос заполняет круговую маару, образовавшуюся там, где произошел взрыв в результате встречи подземных вод с горячей лавой или магмой (кстати сказать, такое явление наблюдалось на Чернобыльской АЭС, когда в разрушенный взрывом раскаленный реактор влили огромное количество воды, пытаясь погасить пожар).

Выводы

Энергетика процессов ядра, динамика мантии и геосферных оболочек Земли обуславливают флюидный режим и “газовое дыхание Земли” (термин В. И. Вернадского) в пределах вулcano-кратерных озер Камеруна — Ниос, Монун и др. Флюидный тепло- и массоперенос по разрезу литосферы здесь протекает в существенно газовых средах, поскольку собственно водные растворы и пары могут присутствовать лишь в верхних горизонтах земной коры. Преобладающие в атмосфере азот (78.08%),

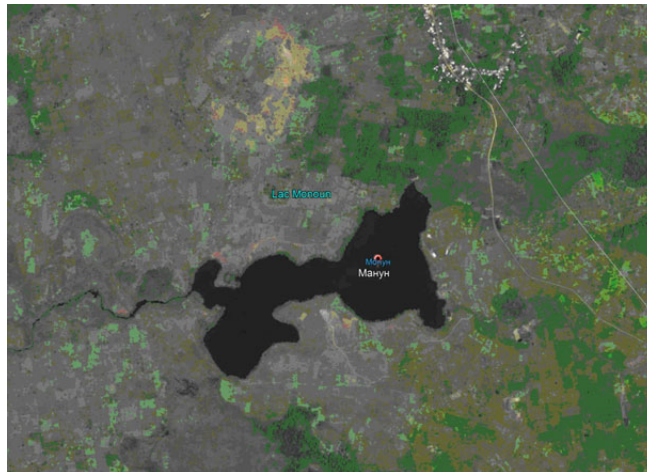


Рис. 19. Космический снимок Landsat-7 озера Монун от 16.05.2012 г. (источник — Google Earth)

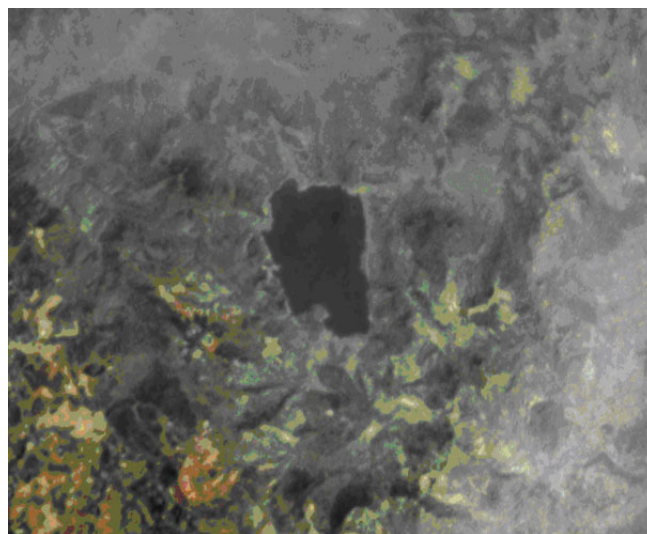


Рис. 20. Спутниковый снимок Landsat-7 озера Ниос от 2.05.2001 г. [12]

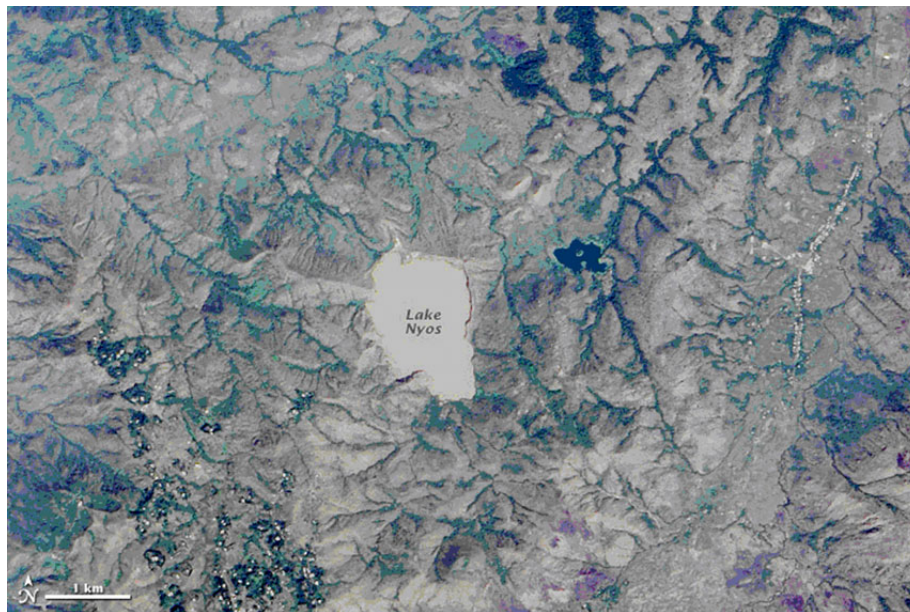


Рис. 21. Озеро Ниос и его окрестности. Космический снимок Landsat-8. 2014 год. Источник — NASA, Элейн Хант [12]

кислород (20.95%), аргон (0.93%), водяной пар (0.5–4.0%) и углекислый газ (0.035%) являются продуктом глубинной дегазации Земли. Они объединяются под общим названием “флюиды”. Под термином “флюиды” геологами понимается существенно водная, водно-газовая и паровая среда. Как известно, концентрация большинства газов в атмосфере практически постоянна. Исключением являются вода и углекислый газ. Взрывные же выбросы углекислого газа на озерах Ниос и Монун глубинного происхождения — результат современной геодинамической и тектонической активности гор Адамава. Именно активизация эндогенных процессов в недрах Земли и привела к катастрофическим последствиям в Камеруне. Выбросы газов на вулcano-кратерных озерах Ниос и Монун — ярчайший пример (индикатор) углекислотно-глубинной дегазации Земли [6]. Они свидетельствуют также о том, что процессы взрывной дегазации могут происходить не только на “границах и ребрах плит”, но и в любой точке планеты, где глубинными разломами “рассекается” сплошность литосферы.

Перемещение глубинных флюидов от ядра Земли к внешним оболочкам земной коры происходит по жерлам вулканов Ниос и Монун, приуроченным к узлам пересечения разломов, вскрывающим глубинные горизонты планеты, где в магматических очагах в качестве продуктов дифференциации преобладает CO_2 . Следовательно, подводящие каналы этих вулканов представляют собой уникальные углекислотно-глубинные трубы дегазации нашей планеты. Кроме CO_2 по этим трубам в определенные периоды в атмосферу Земли выбрасываются фумарольные газы — гелий, водород, фтористый водород, сероводо-

род, хлор, аммиак, радон, аргон, диоксид серы, оксид серы и др. Фумарольные газы вулканов Камерун имеют разный состав: среди них преобладают газы водородного и сернистого типов, а выбросы газов углеродного типа (к примеру, на Ниос и Монун) сравнительно редки.

Вулcano-кратерные озера Ниос и Монун приурочены к фрагменту крупнейшего планетарного глубинного разлома нашей планеты и горной цепи Адамава, простирающейся в северо-восточном направлении от Атлантического океана в сторону Каира. Значительную роль здесь играют разломы диагональной и ортогональной систем, создающих узлы и разломно-блоковый тектонический каркас в литосфере. Описанные озера демонстрируют явление “прорывной” дегазации; они в огромных количествах генерируют диоксид углерода и несут важнейшую информацию о глубинных недрах планеты. В этом и состоит уникальность озер Ниос и Монун. На основании результатов обследования многих вулcano-кратерных озер Камеруна установлено, что только лишь в озерах Ниос и Монун содержатся огромные количества растворенного CO_2 , что свидетельствует не только об их уникальности, но и высокой потенциальной опасности для окружающей среды. Ныне существующие специализированные космические аппараты позволяют оценить подобные явления во всех районах земного шара и таким образом, проводя съемки в режиме мониторинга, могут выявлять аномальные распределения CO_2 .

Автор выражает искреннюю благодарность за ценные замечания академиком НАН Украины В. И. Лялько и В. М. Шестопалову.

Литература

1. Озеро-убийця в Камеруне. *Природа*. 1986. № 10. С. 119–120.
2. Трагедія в Камеруне. *Природа*. 1987. № 4. С. 115–116.
3. Озеро Манун (Камерун). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Манун>.
4. Озеро Ниос. URL: http://www.factruz.ru/world_ocean_2/lake-nyos.htm.
5. Фотографії озера Ниос. URL: <https://wikiway.com/cameroon/ozero-nios/photo/>.
6. Шестопалов В. М., Лукин А. Е., Згонник В. А., Макаренко А. Н., Ларин Н. В., Богуславський А. С. Очерки дегазації Землі. Київ: ІГН НАН України, 2018. 632 с.
7. Guern F.Le., Shanklin E., Tebor S. Witness accounts of the catastrophic event of August 1986 at Lake Nyos (Cameroon). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037702739290067N>.
8. Lake Nyos Dam Assessment. URL: https://www.unocha.org/sites/dms/Documents/Lake_Nyos_Dam_Assessment.pdf.
9. Minoru Kusakabe. Lakes Nyos and Monoun Gas Disasters (Cameroon) — Limnic Eruptions Caused by Excessive Accumulation of Magmatic CO₂ in Crater Lakes. URL: <https://www.terrapub.co.jp/onlinemonographs/gems/pdf/01/0101.pdf>.
10. Evans W.C., Kling G.W., Tuttle M. L., Tanyileke A.G. Pergamon Press Ltd Printed in Great Britain Gas buildup in Lake Nyos, Cameroon: The recharge process and its consequences. *Applied Geochemistry*. 1993. Vol. 8. pp. 207–221. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/9d3c/7b26543d7194c9bd0f1af896e170025b7553.pdf>.
11. Haraldur Sigurdsson. Gas Bursts from Cameroon Crater Lakes: A New Natural Hazard. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf>.
12. Lake Nyos Zoom-in. URL: <https://svs.gsfc.nasa.gov/2348>.
13. Ньос. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

References

1. Killer lake. (1986). *Priroda*. 10, 119–120. (Russian).
2. Tragedy in Cameroon. (1987). *Priroda*. 4, 115–116. (Russian).
3. Lake Manoun (Cameroon). Retrieved from <http://https://ru.wikipedia.org/wiki/Манун>.
4. Lake Nios. Retrieved from http://www.factruz.ru/world_ocean_2/lake-nyos.htm.
5. Photos of Lake Nios. Retrieved from <https://wikiway.com/cameroon/ozero-nios/photo/>.
6. Shestopalov, V. M., Lukin, A. E., Zgonnik, V. A., Makarenko, A. N., Larin, N. V., Boguslavsky, A. S. (2018). *Essays on Earth's degassing*. Kiev: Institute of geological sciences of NAS of Ukraine 2018. (Russian).
7. Guern, F.Le., Shanklin, E., Tebor, S. Witness accounts of the catastrophic event of August 1986 at 6. Lake Nyos (Cameroon). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037702739290067N>.
8. Lake Nyos Dam Assessment. Retrieved from https://www.unocha.org/sites/dms/Documents/Lake_Nyos_Dam_Assessment.pdf.
9. Minoru, Kusakabe. Lakes Nyos and Monoun Gas Disasters (Cameroon) — Limnic Eruptions Caused by Excessive Accumulation of Magmatic CO₂ in Crater Lakes. Retrieved from <https://www.terrapub.co.jp/onlinemonographs/gems/pdf/01/0101.pdf>.
10. Evans, W.C., Kling, G.W., Tuttle, M. L., Tanyileke, A.G. (1993). Pergamon Press Ltd Printed in Great Britain Gas buildup in Lake Nyos, Cameroon: The recharge process and its consequences. *Applied Geochemistry*. 8, 207–221. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/9d3c/7b26543d7194c9bd0f1af896e170025b7553.pdf>.
11. Haraldur, Sigurdsson. Gas Bursts from Cameroon Crater Lakes: A New Natural Hazard. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf>.
12. Lake Nyos Zoom-in. Retrieved from <https://svs.gsfc.nasa.gov/2348>.
13. Lake Nyos. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (Russian).

АФРИКАНСЬКІ ОЗЕРА НІОС І МОНУН — ІНДИКАТОРИ УНІКАЛЬНОГО ВУГЛЕКИСЛОТНОГО ГЛИБИННОГО ДИХАННЯ ЗЕМЛІ

М. М. Шаталов

У результаті аналізу космічної, геологічної і тектонічної інформації встановлено, що справжніми причинами природних еколімнологічних катастроф у Камеруні 1984 і 1986 років були сучасні розломно-блокові тектонічні рухи, тісно пов'язані з сейсмо- і геодинамікою на одній з ділянок “живих” гір Адамава. Головною причиною катастроф необхідно вважати активізацію ендегенних процесів, що відбуваються в мантії і тектоносфері Землі. Космо- і ротогенез планети Земля, в приповерхневих частинах земної кори гірського сегмента “Адамава”, зумовив інтенсивні горотворні і теплогазобмінні процеси, причини та механізм яких тісно пов'язані з підйомом із мантії аномально гарячого магматичного матеріалу і газово-рідких флюїдів, що містять CO₂. Сприятливими транспортними шляхами для тепломасопереноса в літосфері Землі є вулканічні канали, а також ортогональна і діагональна мережа глибинних розломів. Вулканічні канали при цьому слід розглядати як унікальні труби дегазації нашої планети. Викинутий із глибин озер Ниос і Монун смертоносний діоксид вуглецю переважно є диференціатом магматичних розплавів, а останні в свою чергу, мають мантійне “коріння”, що сягає глибини 200-300 км. Вулкано-кратерні озера Ниос і Монун приурочені до вузлів перетину “живих” глибинних розломів, що розкривають глибинні горизонти планети, де в магматичних осередках переважає CO₂, як продукт диференціації.

Автор запропонував механізм формування твердого газогідратного панцира, який порівняно щільно закупорив вулканічний кратер. Ця гігантська газогідратна пробка перешкоджала поступово-пасивній циркуляції, тобто відтоку в гідросферу і атмосферу CO_2 , що надходить з глибинних і проміжних магматичних вогнищ. Так, під газогідратним панциром озер Ниос і Монун, скупчився великий обсяг CO_2 . Вибухові викиди значних обсягів смертоносного газу могли з'явитися лише при геодинамічній активізації ділянки земної кори, де розташовані ці унікальні вулcano-кратерні озера. Сейсмотектонічні процеси сприяли руйнуванню газогідратного панцира і прориву CO_2 по розломах, тріщинах і через водну оболонку до поверхні. Викиди газів на вулcano-кратерних озерах Ниос і Монун — це найяскравіший приклад (індикатор) вуглекислотно-глибинного дихання Землі.

Ключові слова: еколімнологічна катастрофа, вуглекислий газ, геологія, тектоніка, сейсмотектоніка, розломи, глибинна дегазація, космоснімки

AFRICAN LAKES NIOS AND MONE — INDICATORS OF UNIQUE CARBON ELEMENT-DEEP RESPIRATION OF THE EARTH
N. N. Shatalov

As a result of the analysis of space, geological and tectonic information, it was established that the true causes of natural ecolymnological disasters in Cameroon in 1984 and 1986 were modern fault-block tectonic movements, which are closely associated with seismic and geodynamics in one of the sections of the “living” Adamawa Mountains. The main cause of catastrophes must be considered the activation of endogenous processes occurring in the mantle and the tectonosphere of the Earth. Cosmo- and roto-genesis of the planet Earth, in the near-surface parts of the Earth’s crust of the Adamawa mountain segment, led to intensive mountain-building and heat exchange processes, the causes and mechanism of which are closely associated with the rise of abnormally hot magmatic material and gas-liquid fluids containing CO_2 from the mantle. Favorable transport routes for heat and mass transfer in the Earth’s lithosphere are volcanic channels, as well as the orthogonal and diagonal network of deep faults. At the same time, volcanic channels should be considered as unique drain pipes of our planet. The lethal carbon dioxide ejected from the depths of Lakes Nyos and Monun is mainly a differentiate of igneous melts, and the latter, in turn, have mantle “roots” extending to a depth of 200–300 km. The volcano-crater lakes Nios and Monun are confined to the nodes of the intersection of “living” deep faults, revealing the deep horizons of the planet, where in magmatic foci CO_2 is predominant as products of differentiation.

The author proposed a mechanism for the formation of a solid gas hydrate shell, a relatively tightly sealed volcanic crater. This giant gas hydrate plug prevented the gradual-passive circulation, i. e. outflow of CO_2 into the hydrosphere and atmosphere coming from deep and intermediate magmatic foci. So, under the gas hydrate shell of the lakes Nios and Monun, a large amount of CO_2 accumulated. Explosive emissions of significant amounts of lethal gas could appear only with the geodynamic activation of the earth’s crust, where these unique volcano-crater lakes are located. Seismotectonic processes contributed to the destruction of the gas hydrate shell and the breakthrough of CO_2 through fractures, cracks and through the water membrane to the surface. Emissions of gases on the volcano-crater lakes Nyos and Monun are the brightest example (indicator) of the Earth’s carbon dioxide-deep degassing.

Keywords: ecolymnological catastrophe, carbon dioxide, geology, tectonics, seismotectonics, faults, deep degosification, satellite images