



РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА БУЛГУННЯХА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ПЕСЦОВОЕ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

RADIOCARBON DATING OF THE PINGO IN THE PESTSOVOYE GAS FIELD IN THE NORTH OF WEST SIBERIA

ВАСИЛЬЧУК Ю.К., БУДАНЦЕВА Н.А.

*Географический факультет, геологический факультет
МГУ им. М.В. Ломоносова*

VASILCHUK YU.K., BUDANTSEVA N.A.

Geography and geology faculties of Moscow State University

Ключевые слова:

булгуннях (пинго, гидролакколит); радиоуглеродный возраст; север Западной Сибири; инъекционный лед.

Key words:

pingo; radiocarbon age; the north of West Siberia; intrusive ice.

Аннотация

Радиоуглеродное датирование торфа, перекрывающего булгуннях в долине реки Евояха на севере Западной Сибири, позволило установить, что пучение происходило в два этапа: (1) пучение по периферии бугра началось около 5000 лет назад; (2) активизация пучения в центральной части холма — около 2500 лет назад. Скорость этого процесса была очень велика — более 2–3 см/год. Это привело к формированию холма высотой 17 м. В настоящее время данный булгуннях находится в стадии консервации.

Введение

Булгуннях (называемый также гидролакколитом в русскоязычной литературе или пинго — в англоязычной) — это выпуклая мезоформа рельефа высотой обычно 10–12 м (реже — до 15–20 м, в экстремальных случаях — до 50–70 м) и диаметром в десятки (реже — сотни) метров, окруженная с нескольких или со всех сторон понижениями и сложенная, как правило, грунтами супесчано-суглинистого состава с прослоями песков. Булгунняхы возникают при восходящем развитии многолетнемерзлых пород в результате внедрения влаги (или суспензии) при промерзании замкнутых таликов и образования преимущественно инъекционного сильно льдонасыщенного ядра.

На территории России встречено более 1000 булгунняхов; в Канаде — приблизительно 500 в районе Юкона, около 1350 на полуострове Тактаяттак и в дельте реки Маккензи (это самая большая концентрация булгунняхов в мире — рис. 1, 2), около 1500 на Аляске и большое количество на островах в районе Фрэнклина и районе Квебека. Несколько сотен гидролакколитов имеется также в Скандинавии, на Тибетском плато в Китае, в Монголии, Антарктиде, Гренландии (рис. 3) и на архипелаге Шпицберген (рис. 4) [11]. Всего в мире встречено и описано более 5000 пинго.

На территории России булгунняхы широко распространены в Центральной Якутии [2], в Северной Якутии (рис. 5, 6) и на полуостровах Гыданский и Ямал (рис. 7). Чрезвычайно широко они распространены на Тазовском полуострове и в районах, примыкающих к нему с юга.

Булгунняхы часто содержат мощное ледяное ядро, которое может располагаться на разных глубинах — вблизи поверхности бугра, нередко достигая мощности более 10 м (рис. 8–10); на глубине в несколько метров (рис. 11); иногда даже глубже 10–12 м.

Abstract

Radiocarbon dating of the covering pingo peat in the Evoyakha valley in the north of the West Siberia allowed to determine that the heaving developed in two stages: (1) the swelling begun on the periphery of the hill about 5000 years ago; (2) the swelling became more active in the central part of the hill about 2500 years ago. The heaving rate was very high — more than 2–3 cm per year. As a result the hill height reached 17 m. At present the pingo is in the stable state.



Рис. 1. Пинго (булгуннях) Айбюк в дельте р.Маккензи на северо-западе Канады, зимой

В наиболее общем виде механизм образования булгунняхов представляется авторам настоящей статьи следующим образом. Относительно неглубокое озеро в условиях, как правило, низкотемпературной криолитозоны оказывает отепляющее влияние на многолетнемерзлые породы, формируя несквозной талик. Спуск этого озера, обычно вызванный прорывом перегородки, соединяющей его с рекой, или иной причиной, приводит к осушению поверхности и к началу всестороннего промерзания того несквозного подозерного талика. Как правило, в этот период на дне бывшего озера начинает формироваться торф, способствующий более интенсивному промерзанию нижележащей водонасыщенной линзы. Вскоре после начала накопления торфа промерзание приводит к уменьшению объема непромерзшей линзы и к существенному возрастанию давления в ней. Релаксация этого давления естественным образом направлена вверх, что приводит к образованию инъекционного бугра пучения, называемого булгунняхом (пинго, гидроакколитом). Часто булгуннях «плавает» в сильно увлажненном болоте или озере (рис. 12). Весной большая часть бугров, располагающихся на поймах и лайдах, оказывается в воде, в результате чего происходит существенная подпитка водой ледяного ядра и рост булгунняха даже в летнее и осеннее время.

Промерзание сильно насыщенного несквозного талика приводит к существенному возрастанию давлений в водяной линзе, что иногда вызывает даже выброс вод, находящихся под напором ниже ледяного ядра булгунняха (рис. 13).

Очевидно, что время начала пучения достаточно хорошо фиксируется по времени накопления торфа на поверхности будущего бугра. Однако, несмотря на видимую простоту и ясность задачи, прямых определений возраста булгунняхов на севере Западной Сибири до сих пор не проводилось.



Рис. 2. Пинго (булгуннях) Айбюк в дельте р.Маккензи на северо-западе Канады, летом. Фото Х.Берендсен



Рис. 3. Разрушающийся пинго (булгуннях) в Гренландии

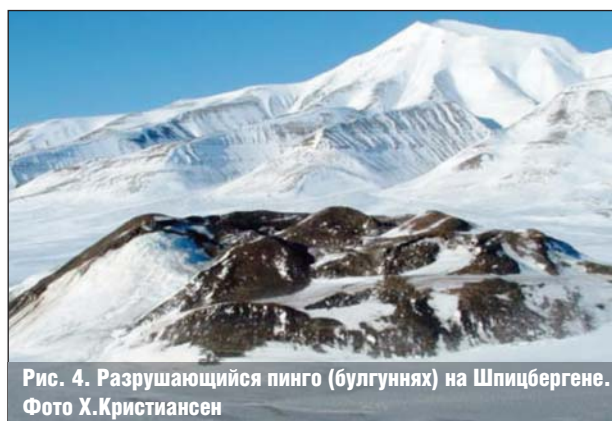


Рис. 4. Разрушающийся пинго (булгуннях) на Шпицбергене. Фото Х.Кристиансен

Таблица 1

Датировки торфа, перекрывающего булгуннях высотой 17 м на месторождении Песцовое в районе г. Новый Уренгой			
Полевой номер образца	Глубина, м	¹⁴ C датировка, лет	Лабораторный номер образца
Шурф 1			
397-YuV/1	0–0,07	2560±70	ГИН-13329
397-YuV/4	0,3–0,4	5220±50	ГИН-13332
397-YuV/8	0,85–0,9	5080±50	ГИН-13335
Шурф 2			
397-YuV/9	0,05–0,15	5400±40	ГИН-13336



Рис. 5. Булгуннях с пьедесталом на поверхности голоценовой халлерчинской тундры (69° 20' 7.04" с.ш., 158° 35' 52.61" в.д.), устье р.Колымы, северо-восток Якутии. Фото Е.Потапова

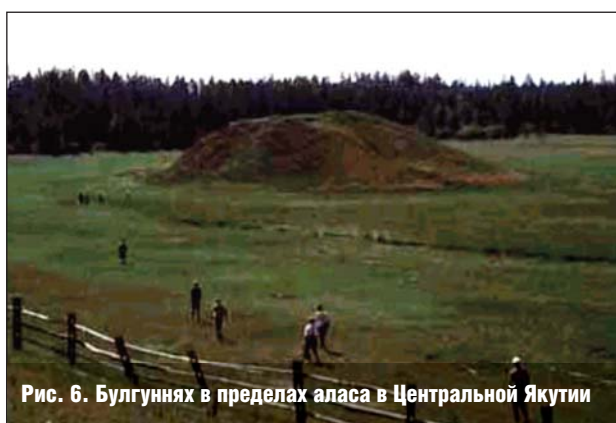


Рис. 6. Булгуннях в пределах аласа в Центральной Якутии

Авторами данной публикации была предпринята попытка определить возраст сравнительно крупных булгунняхов в долине реки Евояхи в центральной части Тазовского полуострова (рис. 14). Было описано более 20 булгунняхов на месторождении газа Песцовое (67° с.ш., 76° в.д.), в 10–15 км севернее станции Тундра и в 98–103 км к северу от города Новый Уренгой.

Рассматриваемая территория расположена за Северным полярным кругом, в лесотундровой и южной тундровой зонах Надым-Пуровского меж-

дуречья. Многолетнемерзлые грунты занимают здесь более 95% территории и имеют преимущественно сплошное распространение. Среднегодовые температуры грунтов меняются в пределах от –1 до –6°С. Наиболее низкие температуры (до –6°С) были отмечены на буграх пучения. Подошва многолетнемерзлых толщ залегает на глубинах от 260 до 340 м. На территории широко развиты процессы морозобойного растрескивания и повторно-жильного льдообразования, но особое место занимает криогенное пучение и образование торфяно-минеральных миграционных бугров и инъекционных бугров — булгунняхов.

Высота исследованных булгунняхов в долине р. Евояхи колеблется от 15 до 20 м, диаметр составляет 150–200 м. Чаще всего в их профиле выделяется нижняя часть — пьедестал — высотой около 5–7 м, над которым куполообразно возвышается основной бугор (см. рис. 14 а). Более детально было выполнено обследование одного из булгунняхов (см. рис. 14 б), имеющего высоту 17 м и расположенного в 10 км к северу от станции Тундра (в 29–30 км после поворота на газовое месторождение Песцовое с основного шоссе от города Новый Уренгой).

Таблица 2

Радиоуглеродные датировки отложений одного из булгуньяхов вблизи озера Джангыскол на Центральном Алтае [1]			
Глубина отбора, см	Материал датирования	¹⁴ C возраст, лет назад	Калиброванный возраст, лет назад
20	Торф	1880±60	1814
70	Торф в гиттии	2100±100	2082
105	Гиттия	2240±70	2232
195	Гиттия	2450±95	2530
250	Растительные макроостатки в суглинке	3320±20	3541
270	Гиттия	3780±35	4153
325	Растительные макроостатки в суглинке	4765±120	5482
420	Растительный детрит в суглинке	10 845±80	12 909
440	Растительный детрит в суглинке	10 960±50	13 000
585	Растительный детрит в глине	13000	15 592

Результаты радиоуглеродного датирования

Для определения возраста булгуньяха авторами настоящей статьи был опробован торф, перекрывающий бугор в его центральной части и близ подножия на пьедестале (см. рис. 14). Радиоуглеродное датирование этого торфа, выполненное в Геологическом институте РАН с помощью Л.Д. Су-

лержицкого и Ю.Н. Чижовой, продемонстрировало относительно молодой возраст перекрывающего торфа в разных частях бугра (табл. 1). В центральной части булгуньяха поверхностный торф имеет возраст 2560±70 лет; торф с глубины 0,3-0,4 м — 5220±50 лет; с глубины 0,85-0,9 м — 5080±50 лет. На пьедестале торф с глубины 0,05-0,15 м имеет возраст 5400±40 лет.

Таблица 3

Радиоуглеродные датировки отложений озера Джангыскол и булгуньяха близ него на Центральном Алтае [6]				
Номер образца	Глубина отбора, см	Материал датирования	¹⁴ C возраст, лет назад	Калиброванный возраст, лет назад
Керн на оз. Джангыскол				
CURL 5329	213–216	Иглы лиственницы в гиттии	4150±40	4686
CURL 5328	256–260	Семена щавеля, лиственницы, маревых в гиттии	4830±40	5549
AA45774	265–267	Уголь в гиттии	7020±200	7649
Poz-4404	274–275	Древесина, уголь в мергеле	8170±50	9125
AA45773	283–285	Семена осоки в гиттии	11360±710	13389
CURL 5974	289–296	Иглы лиственницы, сережки березы, уголь в гиттии	8660±140	9706
CURL 4012	307–308	Семена осоки, кора в гиттии	10750±60	12634
CURL 4349	329–330	Сережки березы, уголь в гиттии	10820±190	12846
CURL 4013	410–412	Иглы лиственницы, уголь в гиттии	9890±60	11297
CURL 4014	425–428	Семена маревых, древесина, уголь в гиттии	10150±60	11778
CURL 4015	464–466	Уголь в суглинке	10450±90	12447
Керн из булгуньяха на оз. Джангыскол				
CURL 4836	120–122	Семена осоки, уголь в гиттии с суглинком	890±30	816
Utc-8467	186	Веточки, корешки в гиттии	330±29	387
CURL 4837	229–231	Семена осоки, уголь в гиттии	2310±30	2316
Utc-8355	278	Папоротник риччия в гиттии	7672±46	8447
Utc-8468	318	Кора, уголь в гиттии	6440±120	7186
Utc-8469	350	Уголь в гиттии	6262±42	7349
CURL 4838	401–404	Семена осоки, уголь в гиттии	6030±45	6862
CURL 4838	410–412	Семена роголистника в гиттии	6050±45	6866
CURL 5067	428–429	Уголь, эпидермис наземных организмов в гиттии	6780±50	7269
Utc-8470	456	Хвоц, уголь в суглинке	13 050±150	15 637

Таблица 4

Радиоуглеродные датировки отложений в пинго Айбюк, Канада (по [12] с дополнением из [9])			
Датируемый материал	Глубина отбора, м	Возраст, тыс. лет назад	Лабораторный номер
Привнесенные водой аллохтонные ветки в суглинке	0–0,5	1650±100	UQ-1067
Аллохтонные ветки в суглинке	1–1,1	8625±210	GX-7013
Древесина	10	8855±205	GX-7014
Органика	8,5	12000±300	S-69
Торф	9,7	17800±260	GSC-481
Торф	9,8	14130±440	GSC-512
Аллохтонная древесина	10,3	>42900	GSC-485
Аллохтонная древесина	11,4	>37500	GSC-486
Аллохтонная древесина	12	28000±2000	Be-49
Аллохтонная древесина	15	>33000	L-300A

интенсивное пучение, быстро приведшее к образованию 17-метрового бугра практически в его современном виде.

Обзор предшествующих исследований возраста булгунняхов

В России радиоуглеродное датирование отложений, непосредственно слагающих гидролакколиты, практически не проводилось. Известны лишь две работы, одна из которых была выполнена В.В. Бутвиловским [1], исследовавшим возраст отложений в пределах поля булгунняхов на Центральном Алтае (в межгорной котловине севернее Северо-Чуйского хребта, вблизи озера Джангыскол). Здесь были исследованы небольшие булгунняхи высотой 3–6 м, сложенные мерзлыми озерными отложениями с многочисленными растительными остатками.

Водоёмы округлой формы в пределах исследованного на Центральном Алтае массива с булгунняхами фиксируют термокарстовые понижения. С востока озеро Джангыскол окружено болотом с многолетнемерзлыми отложениями, в котором прослеживаются кольцевые структуры, по форме напоминающие вышеупомянутые водоёмы. Подобные структуры слабо прослеживаются и под водой на дне озера. Было определено, что торф на глубине 0,2 м имеет возраст 1880±60 лет, гиттия в интервале глубин 0,7–2,7 м — от 2100±100 до 3780±35 лет, растительные остатки в пылеватой глине в ядре булгунняха — от 4000 до 15 000 лет (табл. 2). Поскольку в работе Бутвиловского [1] нет точного указания места отбора проб, то можно только предположить, что возраст булгунняхов данного массива составляет не более 2000 лет.

Позднее Т.А. Бляхарчук с соавторами [6] провела более определенное исследование возраста булгунняхов на Алтае вблизи озера Джангыскол (табл. 3). Стратиграфические, палинологические и радиоуглеродные исследования, по ее мнению, указывают на то, что озеро осушилось в начале голоцена (около 9000 лет назад) вследствие того, что река Куркурек, берущая начало в горах и питающая данное озеро, сменила русло к западу от аллювиального болота. После этого началось многолетнее промерзание отложений, сопровождавшееся вспучиванием, образованием и ростом булгунняхов. Повторные инъекции воды могли приводить к образованию групп бугров с ледяным ядром.

Формирование булгунняхов и многолетнемерзлых пород в болоте к югу от современного озера могло способствовать повторному наполнению последнего, но уже не горными водотоками, а локальными атмосферными осадками. В позднем голоцене произошло расширение площади озера в южном направлении и увеличение площади болота к югу и к востоку от озера, где начали формироваться современные гидролакколиты.

¹⁴C датирование растительных остатков булгунняха Джангыскол показало, что орешки осок в верхней части разреза (на глубине 1,2 м) имеют



Рис. 7. Булгуннях в пределах хасырея на Ямале. Фото из Journal of Geology

Результаты датирования исследованного булгунняха наглядно показывают, что он начал формироваться около 5000 лет назад. При этом вначале выпучивание произошло в той его части, которая сейчас является пьедесталом. Там же, где сейчас находится вершина, некоторое время еще продолжалось торфонакопление (возможно, в течение 2000 лет). После этого около 2500 лет назад произошло



Рис. 8. Ледяное ядро пинго (булгунняха) в дельте р.Маккензи, северо-запад Канады. Фото С.Дэллимора



возраст 890 ± 30 лет (CURL 4836), веточки в гитии на глубине 1,9 м — 330 ± 29 лет (Utc-8467), орешки осок в гитии на глубине 2,3 м — 2310 ± 30 лет (CURL 4837), остатки риччии — 7672 ± 46 лет (Utc-8355) (см. табл. 3). Таким образом, булгуннях Джангыскол, скорее всего, начал формироваться несколько сотен лет назад.

Булгунняхы вблизи озера Джангыскол, описанные В.В. Бутвиловским [1] и Т.А. Бляхарчук с соавторами [6], формировались как в позднем голоцене, так и сравнительно недавно. Это свидетельствует о стабильности условий формирования гидролакколитов на Алтае и в голоцене, и в настоящее время.

Одним из первых, кто датировал булгуннях, был Ф. Мюллер. В его работе [12] приводятся данные по датированию отложений в разрезах двух пинго: (1) Айбюк (Ibyuk, одного из известнейших на севере Канады) высотой 42 м, с ледяным ядром, вскрытым на глубине 14,5 м (см. рис. 1); (2) Ситиёк (Sitiyok) в 4 км от поселка Тактояктак в дельте р. Маккензи.

В первом бугре радиоуглеродная датировка на глубине 15 м дала результат более чем 33 000 лет (L-300A), на глубине 12 м — $28\,000 \pm 2000$ лет (Be-49), на глубине около 2,5 м — около $12\,000 \pm 300$ лет (S-69). Эти данные привели Ф. Мюллера к мнению о том, что пинго Айбюк имеет возраст 7000–10 000 лет (табл. 4).

Более молодая дата в разрезе второго бугра на глубине 0,3 м от поверхности, составившая 6800 ± 200 лет назад (S-57), позволила Ф. Мюллеру оценить возраст пинго Ситиёк серединой голоцена [12].

Исследования Дж. Р. Маккая [11] показывают, что пинго Айбюк продолжает расти, а расчеты, базирующиеся на темпах роста в 1973-1975 гг., дают основания полагать, что его возраст примерно равен 1000 лет.

Возраст булгунняхов в двух районах на острове Банкс (Banks, одном из крупнейших островов Канадского арктического архипелага), по радиоуглеродным данным, приблизительно составляет от 4500 до 7000 лет [13].

Датирование отложений в пинго на Шпицбергене [4, 15] и Аляске [8] дало лишь представление об их максимальном возрасте — практически везде это был голоцен.

Возраст пинго близ Прадхо-Бей на севере Аляски был оценен М. Уолкер с соавторами по возрасту почв [16, 17]. Ставилась задача определить возраст двух групп гидролакколитов, отличавшихся друг от друга по морфологическим признакам: (1) крутостенных пинго с основанием небольшого диаметра; (2) пинго большого диаметра с пологими склонами.

Булгунняхы первой группы всегда расположены в пределах термокарстовых озерных котловин, и их возраст оценивается не более чем в 10 000 лет. Пинго второй группы встречаются на доголоценовых поверхностях вне видимых термокарстовых озерных котловин, что позволяет рассматривать начало их формирования до развития



Рис. 9. Ледяное ядро пинго (булгуннях) расположенного в дельте р.Маккензи. Фото А.Журно



Рис. 10. Ледяное ядро пинго 22 на п-ове Тактояктак, в 20 км юго-западнее пос.Тактояктак, образовавшееся в результате промерзания линзы воды, что привело к образованию пинго высотой 7-10 м. Фото Дж.Росс Маккая



Рис. 11. Исследование немецкими и японскими исследователями пинго (булгуннях) на Аляске в колодце (скважине) выполненном в ледяном ядре бугра. Фото К.Йошикава и Х.Майер



Рис. 12. Плавающие (окруженные водой) крупные пинго (булгунняхы) в дельте р. Маккензи, расположенные в непосредственной близости к пос. Тактояктак. Фото Э.Пике



Рис. 13. Фонтан воды высотой 2,6 м, бьющий из скважины глубиной 22 м, пробуренной в пинго 14 в дельте р.Маккензи. Фото Дж.Росс Макая

термокарстовых процессов. Исследование почв булгунняхов двух указанных типов показало явные различия: почвы во второй группе характеризовались более высокими концентрациями глинистых частиц и железа, более низким рН, более выраженными цветом, структурой, консистенцией и анизотропией почвенного профиля. Абсолютный возраст исследованных гидролакколлитов, подсчитанный с помощью уравнений регрессии на основе почвенных характеристик с привлечением литературных данных, показал, что минимальный возраст пинго первой группы составляет около 5000 лет, а второй группы — от 14 000 до 20 000 лет [16].

Дж.Р. Маккай [10, 11] оценил приблизительный возраст пинго на западном арктическом побережье Канады по мощности торфа, размеру полигонально-жильного рельефа по периферии бугров и возрасту древесной растительности. Дж.Р. Маккай от-

мечает, что большинство пинго здесь имеют возраст от сотен до тысяч лет.

Если не считать нескольких молодых булгунняхов вблизи поселка Тактояктас, которые начали расти после 1900 г., почти все пинго с оцененным возрастом на западном арктическом побережье Канады и на Аляске являются позднеголоценовыми. На полуострове Тактояктас один гидролакколлит имеет возраст более 1000 лет и два (разрушенных) — более 2500 лет. Булгунняху рядом с поселком Тактояктас, скорее всего, 4000 лет. Пинго на северном побережье Аляски имеют возраст около 6000 лет, на территории Юкона — возможно, более 1230 лет.

Булгунняхам в долине Телон в пределах Северо-Западных территорий Канады, по мнению Б. Крейга [7], более 5000 лет. Как показал Г. Скоттер [14], два пинго высотой около 30 м, исследованные в заболоченной долине реки Мала на Баффиновой Земле, формировались от 5000 до 2500 лет назад и в настоящее время не имеют признаков роста. Э. Бибус [4, 5] приводит радиоуглеродный возраст булгунняху на Шпицбергене, равный 1875 ± 470 лет, интерпретируемый им как минимальный для пинго. Х. Свенссон [15] также на Шпицбергене (близ Адвентдалена) получил $14C$ возраст гидролакколита, равный 2650 ± 55 лет, и считает его максимальным для пинго.

Однако не все пинго являются древними образованиями. Некоторые из исследованных булгунняхов начали расти в середине XX в. Так, в дельте р. Маккензи известны пинго высотой 6 м, которые образовались после 1935 г. вслед за отступанием берега, вызвавшего спуск озера. Другие пинго возникли после 1950 г. Публиковались данные и о молодых булгунняхках в Сибири, возраст которых колеблется от 106 до 162 лет [2, 3].

Прямые исследования динамики пинго, проводимые на протяжении 30 лет Дж.Р. Маккаем [10], показали, что они в одних случаях активно растут, в других — стабильны, в третьих — деградируют и разрушаются. Это обычно связано с временем их формирования: древние булгунняхки чаще стабильны или распадаются, а более молодые — растут (хотя возможны повторный рост древних бугров и распад молодых).

По данным Дж.Р. Маккая [11], скорость роста одного из пинго, на вершине которого была откры-



Рис. 14. Булгунняхки на месторождении Песцовое, в 10-15 км севернее ст. Тундра, в 98-103 км от г.Новый Уренгой: а — булгуннях с отчетливо выраженным пьедесталом, б — детально исследованный и датированный булгуннях высотой 17 м. Масштаб можно оценить по фигурам геологов, стоящих на поверхности бугра



Рис. 15. Крупный пинго (булгуньяха) расположенный в непосредственной близости к пос. Тактаяктак

та дилатационная трещина шириной 0,5-1,5 см и глубиной 15-18 м, равнялась примерно 15 см/год в течение 1969-1971 гг. Наивысшая годовая скорость роста пинго, определенная Дж.Р. Маккаем, достигала 21,2 см/год.

Высокая скорость роста булгуньяхов (до 1,5 м/год) возможна в первые год-два их развития, но в дальнейшем она уменьшается пропорционально квадратному корню из их возраста [11].

В связи с различной динамикой роста пинго определение их возраста является весьма интересной задачей для прогноза их состояния, тем более что территории, занятые булгуньяхами, всё чаще оказываются в непосредственной зоне освоения (рис. 15).

Приведенные данные демонстрируют, что булгуньяхи формируются в разное время в зависимости от изменений локальных геоморфологических условий, а также региональных климатических трендов. Их возраст сильно варьирует, что согласуется с механизмом их формирования (ведь вполне естественно, что дренаж озера не привязан к какому-либо палеогеографическому событию и может происходить произвольно в разное время даже в пределах одного района).

Выводы

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы относительно формирования изученного булгуньяха в долине р. Евояхи:

1) пучение происходило в два этапа — сначала по периферии бугра около 5000 лет назад, а затем в центральной части около 2500 лет назад;

2) скорость образования булгуньяха была очень высока, и за несколько десятков или сотен лет он достиг высоты 17 м;

3) в настоящее время булгуньях находится в стадии консервации. ❖

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (гранты 08-05-01068 и 10-05-00986) и Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт 02.740.11.0337).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1993. 252 с.
2. Соловьев П.А. Булгуньяхи Центральной Якутии // Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике. Вып. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 226–258.
3. Сукачев В.Н. Растительность верхней части бассейна р. Тунгира Олёкминского округа Якутской области // Тр. Амурской экспедиции. Ботанические исследования. 1910. Том 16. С. 265.
4. Bibus E. Geomorphologische untersuchungen zur hang und talentwicklung im zentralen West-Spizbergen // Polarforschung. 1975. 45 (2). S. 102–119.
5. Bibus E., Nagel G., Semmel A. Periglacialer reliefumformung im zentralen Spizbergen // Catena. 1976. Vol. 3. P. 29–44.
6. Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O. Ammann B. The role of pingos in the development of the Dzhangyskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2008. Vol. 257. Iss. 4. P. 404–420.
7. Craig B.G. Pingo in the thelon valley, northwest territories; radiocarbon age and historical significance of the contained organic material // Bulletin Geological Society of America. 1959. Vol. 70. № 4. P. 509–510.
8. Holmes G.W., Hopkins D.M., Foster H. Pingos in central Alaska // Geological Survey Bulletin. Washington, 1968. 1241-H — H1-H40.
9. Kato K. Formation process of a massive ground ice body in Mackenzie Delta, Western Arctic Canada // Summaries of Researches using AMS at Nagoya University. Iss. 2. CiNii. 1991. P. 40–51.
10. Mackay J.R. Pingo collapse and paleoclimatic reconstruction // Canadian Journal of Earth Sciences. 1988. № 25 (4). P. 495–511.
11. Mackay J.R. Pingo growth and collapse, Tuktoyaktuk Peninsula area, Western Arctic coast, Canada: a long-term field study // Geographie Physique et Quaternaire. 1998. Vol. 52. № 3. P. 271–323.
12. Müller F. Analysis of some stratigraphic observations and radiocarbon dates from two pingos in the Mackenzie Delta area, N.W.T. // Arctic. 1962. Vol. 15. P. 279–288.
13. Pissart A., French H.M. Pingo investigations, north-central Banks Island, Canadian Arctic // Canadian J. of Earth Sciences. 1976. Vol. 13. P. 937–946.
14. Scotter G.W. A Pingo in the Mala River Valley, Baffin Island, Northwest Territories, Canada // Arctic. 1985. Vol. 38. P. 244–245.
15. Svensson H. Pingos yttre delen av Adventdalen // Norsk Polaristitut Årbok. 1969, 1970. P. 168–174.
16. Walker M.D., Everett K.R., Walker D.A., Birkeland P.W. Soil development as an indicator of relative pingo age, Northern Alaska, U.S.A. // Arctic and Alpine Research. 1996. Vol. 28. № 3. P. 352–362.
17. Walker M.D., Walker D.A., Everett K.R., Short S.K. Arctic steppe on south-facing slopes of pingos, central Arctic Coastal Plain, Alaska // Arctic and Alpine Research. 1991. Vol. 23. P. 170–188.