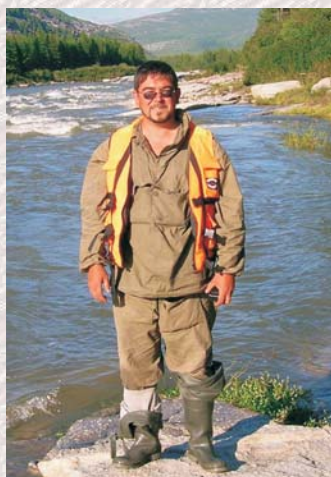




А. А. Галанин



Алексей Александрович Галанин,
доктор географических наук,
заведующий лабораторией
региональной геокриологии
и криолитологии Института
мерзотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН.

Введение

В горных ландшафтах Арктики и Субарктики широко распространены лишённые почвенно-растительного покрова каменные формы рельефа. Их происхождение и динамика связаны с деятельностью различных процессов – физического выветривания, снежников, ледников, морозного пучения, крипа, обваливания, осыпания – прямо или косвенно обусловленных криогенезом. Активность этих процессов зависит, прежде всего, от климатических условий, поэтому их динамика подчиняется сезонной и многолетней периодичности и цикличности.

Для оценки возраста и динамики каменных форм рельефа используются различные методические приёмы и подходы. Среди них особое место занимает лихенометрический

метод, основанный на изучении возрастной структуры сообществ эпилитных лишайников, которые непрерывно колонизируют все образующиеся в ландшафте каменные поверхности.

Применение лишайников в качестве индикаторов возраста основано на том, что они растут от центра к периферии, а продолжительность жизни отдельных слоевищ достигает нескольких тысяч лет и сравнима с возрастом исследуемых форм рельефа. Лихенометрический метод был предложен Р. Е. Бешелем в середине прошлого века [1]. В России он впервые был применён Ю. А. Мартиным в 1970 г. для датирования ледниковых образований на Полярном Урале [2]. Широкое развитие метод получил в палеогеографических и геоморфологических исследованиях В. И. Турма-

*На фото сверху – доминантная особь лишайника криофита *Rhizocarpon alpicola* на глыбах курумного потока. Побережье бухты Ткачен, Чукотский полуостров.*

Фото автора.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 11-05-00318-а.

ниной, Л. Р. Серебрянного, А. В. Орлова, О. Н. Соломиной, А. А. Никонова, Т. Ю. Шебалиной, О. С. Савоскула и других [3].

А. А. Никонов и Т. Ю. Шебалина в 1978 г. выдвинули идею использования лихенометрического метода для датирования сейсмических обвалов и оползней в сейсмоактивных районах Средней Азии [4]. В. Б. Булл и М. Т. Брендон [5] разработали необычный приём использования лишайников для оценки повторяемости землетрясений и определения координат их эпицентров. Изучение частотных распределений больших выборок лишайников позволяет иногда выявить разнопорядковую ритмичность мерзлотных и склоновых процессов [6].

Вместе с тем лихенометрический метод ещё очень слабо освещён в отечественной литературе, и многие его специфические аспекты остаются дискуссионными. Анализ результатов применения используемых приёмов, возможных источников ошибок лихенометрического датирования обсуждался автором ранее [3]. В настоящей статье освещаются наиболее ключевые моменты использования лишайников в качестве индексов возраста.

Лишайники – индикаторы возраста

На страницах журнала «Наука и техника в Якутии» автор уже рассматривал некоторые физиологические и экологические свойства лишайников, делающие их весьма привлекательными для использования в качестве биоиндикаторов [7]. В середине прошлого века канадский ботаник Р. Е. Бешель [1, 8] предложил использовать их для определения возраста позднеголоценовых ледниковых морен. Данный метод, названный лихенометрическим, нашёл множество поклонников и к настоящему времени развился в специфическую отрасль биоиндикации, именуемую лихенометрией.

Для датирования каменных поверхностей используют, как правило, долгоживущие виды лишайников из родов *Rhizocarpon*, *Lecanora*, *Aspicilia*, *Alectoria*, *Xanthoria*, *Umbilicaria*, *Lecidea* и другие. Все они относятся к эпилитным² накипным и корковым типам.

Обычно на исследуемой экспонируемой поверхности наблюдается множество разновозрастных особей разных видов лишайников, представляющих её видовое и популяционное разнообразие. Для лихенометрических исследований наиболее важным является выбор долго-

живущих видов, особи которых имеют округлую форму, широкое распространение и могут быть определены в полевых условиях. Всеми этими качествами обладают лишайники подрода *Ризокарпон* (*Rhizocarpon*). Их слоевища обычно имеют вид лимонно- или соломенно-жёлтой, редко – частично пепельно-серой ячеисто потрескавшейся корочки. Самый популярный индикатор – циркумполярно распространённый *Ризокарпон географический* (*Rhizocarpon geographicum*) (рис. 1).

Скорость роста лишайников рода *Ризокарпон* в разных физикоклиматических районах Земли варьирует от 0,02 до 0,6 мм/год, продолжительность жизни отдельных особей иногда достигает нескольких тысяч лет, а диаметры слоевищ – до полуметра и более. По данным Р. Бешеля [8], временной интервал датирования по лишайнику *Ризокарпон географический* может составлять примерно 1000 лет, а в полярных и наиболее континентальных районах – 4000 – 4500 лет. Ж. Дентон и В. Карлен [9] считают, что возраст отдельных особей этого вида может достигать 8500 – 9000 лет. В климатических условиях умеренной зоны скорость роста лишайников значительно выше, а лихенометрический метод наиболее пригоден в интервале до 500 – 600 лет [8].

Молодые популяции рода *Ризокарпон* даже на ограниченной поверхности бывают весьма многочисленны (рис. 1а). В некоторых случаях их плотность достигает десятков и даже сотен особей на 1 м². На старых поверхностях число особей ограничено (рис. 1, б). Лишайники данного рода хорошо растут на кислых и средних породах. На основных породах они поселяются после образования на поверхности окисленной корки выветривания толщиной от 2 мм и более.

Индексы возраста

Чтобы определить минимальное время экспонирования каменной поверхности, необходимо установить зависимость между размерами используемого вида лишайников и их возрастом, т.е. построить кривую роста. Нетрудно предположить, что в основе лихенометрических методов лежит допущение, что лишайник большего размера – более старый, а самая крупная особь имеет максимальный возраст. Поэтому для определения возраста многие используют самые крупные лишайники. Другие считают, что использовать единичные измерения неправомерно, поэтому применяют выборочные харак-



Рис. 1. Об активности наледной плантации на данном участке долины р. Восточная Хандыга свидетельствуют молодые округлые особи *Ризокарпона географического* (а), не превышающие в диаметре 7 – 8 мм. Старая колония *Ризокарпона географического* (в центре) на тектоническом отторженце (б) в верховьях р. Восточная Хандыга.

Фото автора.

² Эпилитный – растущий на поверхности камней и скал.

теристики, например, модальные, медианные и средние значения [10, 11]. Реже используются площадь таллов, а также индексы кривых, описывающих частотные распределения и вариационные ряды случайных выборок диаметров слоевищ³ [3, 10].

Все перечисленные индексы связаны с возрастом популяции и являются функцией от времени экспонирования поверхности. При использовании крупных особей возникает проблема завышения возраста, поскольку они могут быть физиологически аномальными. Если пользоваться средними значениями, наоборот, возникает проблема занижения возраста за счёт большого статистического веса более многочисленных молодых особей.

В качестве индекса возраста нами использованы коэффициенты логарифмического тренда, наложенного на убывающий вариационный ряд⁴ измеренных слоевищ [3] типа $y = a \lg x + b$, где y – диаметр слоевища; x – его порядковый номер; a и b – коэффициенты (рис. 2). В дан-

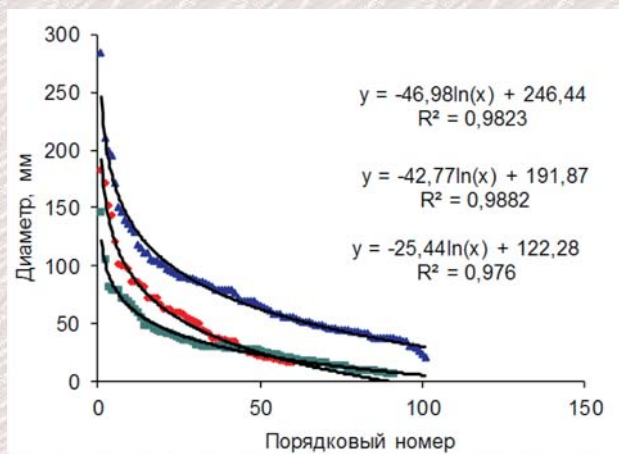


Рис. 2. Оценка максимальных теоретических диаметров в трёх упорядоченных по убыванию выборках *Rhizocarpon sp.* с помощью логарифмических трендов.

ном случае при оценке индекса возраста учитываются значения всей выборки, а не одного наиболее крупного слоевища, которое может быть не обнаружено наблюдателем при обследовании датированного участка или отсутствовать на данном участке по разным причинам.

Приёмы лихенометрических измерений

Измерения лишайников-индикаторов обычно выполняются с помощью гибкой прозрачной линейки (см. рис. 1) или штангенциркуля с точностью 1 мм и выше. Целесообразно иметь большие выборки измерений (несколько сотен), что даёт возможность получать более полные лихенометрические характеристики исследуемых объектов. Однако на старых поверхностях

это не всегда оказывается возможным вследствие ограниченности размеров исследуемой поверхности и числа обитающих на ней особей лишайника-индикатора. В таких случаях необходимо измерять все встречаемые особи [3].

Слоевище лишайника-индикатора растёт от центра к периферии и формирует более или менее округлую форму. Однако в природе вследствие разных причин лишайники не имеют правильной геометрической формы. Молодые особи более округлы, чем старые.

При выполнении измерений необходимо придерживаться определённого стандарта. В. Локк и др. [12] рекомендуют измерять диаметр максимальной окружности, вписанной в слоевище, который приблизительно равен средней его ширине, в то время как диаметр описанной окружности равен длине таллома. Чем более изометрично и вытянуто слоевище, тем больше разница между диаметрами вписанной и описанной окружностей. Проблема может быть решена, если измерять только округлые или почти округлые талломы. Но в этом случае возникает вопрос, какие слоевища считать округлыми, а какие – нет. П. Беркланд [13] предложил использовать ограничивающее отношение 0,75 (минимальный диаметр/максимальный диаметр) при выборе измеряемых слоевищ – измерять только те из них, у которых это отношение больше 0,75.

По нашим наблюдениям, коэффициент корреляции между длиной и шириной слоевищ в выборке изменяется в пределах 0,6 – 0,85 при 95-процентном уровне значимости. Причём для более крупных талломов характерны большие вариации.

А. А. Никонов и Т. Ю. Шебалина для датирования сейсмодислокаций в горах Средней Азии в качестве индекса возраста использовали средний диаметр (полу-сумма максимума и минимума) [11].

Закономерности роста накипных лишайников и оценка возраста

Несмотря на значительную продолжительность жизни отдельных талломов накипных лишайников, в большинстве случаев интервал лихенометрического датирования составляет 2 – 4 тыс. лет. Опубликованные датировки в 5 тыс. лет и более вызывают сомнения, поскольку по мере старения скорость роста лишайников-индикаторов, как и всех живых организмов, замедляется.

Р. Е. Бешелем отмечалось, что через 100 – 150 лет скорость роста отдельного таллома может уменьшиться вдвое и более раз. Для удобства лихенометрических оценок им было введено понятие «лишайниковый фактор», обозначающее размер особи лишайника в возрасте 100 лет. Значение «лишайникового фактора» было вычислено для ряда ледниковых районов Аляски и Канады и использовалось для датирования. Например, для разных районов Гренландии лишайниковый фактор *Rhizocarpon geographicum* варьирует от 2 до 45 мм [8], в ледниковых районах Баффиновой Земли он составляет около 5,4 мм [14], в Альпах изменяется от 13 до 60 мм [8],

³ Слоевищем или талломом называется тело лишайника, которое может иметь форму плёнки, корки, кустика, листа и др.

⁴ Предположим, что мы измерили рост у 10 человек. Чтобы создать вариационный ряд, нужно все измеренные значения упорядочить от максимального к минимальному и присвоить каждому измерению порядковый номер от 1 до 10. Для наглядного отображения можно построить функцию вида $y = x_n$, где x – порядковый номер, y – рост. Аналогичным способом были получены графики на рис. 2.

в Швеции и Норвегии – от 20 до 46 мм [15], в Центральном Аляскинском хребте равен 50 мм [16]. Приведённые данные указывают на значительный разброс скоростей роста лишайников в первые 100 лет жизни в разных физико-географических зонах. В связи с этим возникает задача построения калибровочных кривых роста лишайников-индикаторов для каждого района исследований.

Анализ семейства лихенометрических кривых по разным регионам (рис. 3) свидетельствует о существовании трёх основных фаз роста в физиологическом цикле накипных лишайников. Р. А. Армстронгом [17] эти фазы были охарактеризованы следующим образом: 1) долинейная, в течение которой радиальный прирост с возрастом увеличивается в логарифмической прогрессии; 2) линейная, в течение которой ежегодные приросты постоянны; 3) постлинейная – приросты постепенно уменьшаются.

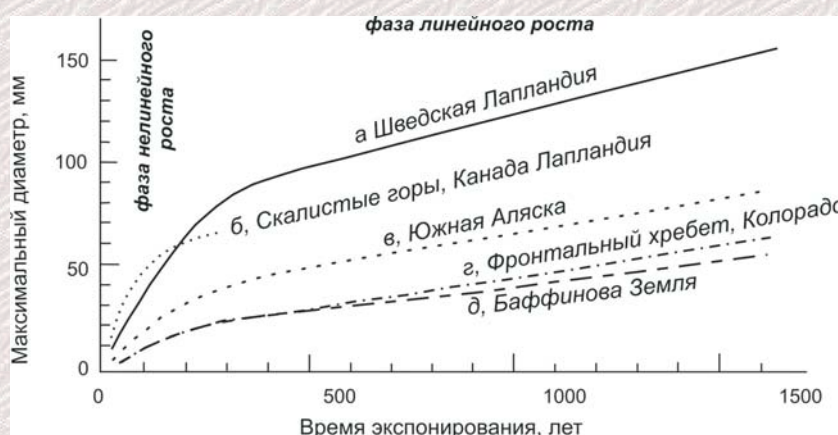


Рис. 3. Лихенометрические кривые *Ризокарпона* географического для некоторых регионов [цит. по 3].

Р. Е. Бешелем фазы 1 и 2 были названы «большим» и «малым» периодами роста [8]. Поскольку в пределах линейной фазы роста лежит необходимый интервал применения лихенометрического метода, то большая часть исследователей, сразу за Р. Бешелем, стала использовать линейные и ломанные сублинейные зависимости между лихенометрическим индексом возраста (средний, максимальный диаметр талломов и др.) и временем экспонирования поверхности [14, 8, 17]. Например, одно из уравнений О. Н. Соломиной и О. С. Савоскула [18], построенное для лишайников из рода *Rhizocarpon* в одном из районов Тянь-Шаня, имеет вид:

$$t = 24,8 + 13,5dRh,$$

где t – минимальный возраст поверхности, dRh – диаметр наиболее крупной особи *Rhizocarpon* sp.

Если в ранних лихенометрических исследованиях выделение трёх фаз роста в жизненном цикле лишайников производилось, в основном, эмпирически, то в последних работах В. Б. Булла и М. Т. Брандона [5] данная модель формализовалась в более стройной математической форме:

⁵ Онтогенез – закономерное изменение организма на протяжении его жизни, включающее рождение, фазу молодости, зрелости, старения и др.

⁶ Так называемый закон Мальтуса об ограниченной возможности роста численности и размеров популяции в данном случае применяется к конкретной особи и к выборочным размерным характеристикам локальных популяций.

$$d_{\max} = d_0 (1 - e^{-k/(f-f_0)} + c(f-f_0)),$$

где f – время экспонирования субстрата, годы; d_{\max} – диаметр самого крупного лишайника-индикатора, миллиметры; f_0 – параметр, указывающий на время начала колонизации поверхности (лет); k – параметр, представляющий нелинейный компонент кривой (фаза быстрого роста); d_0 – параметр ограниченности роста в конце третьей фазы роста; c – постоянная роста (скорость роста) в течение линейной фазы.

Если датирование проводится в интервале линейной фазы, то уравнение существенно упрощается до вида:

$$d = (d_0 - cf_0) + cf.$$

Наши исследования показали, что рост особей лишайников (или увеличение используемых индексов возраста) не только замедляется, но на определённой стадии останавливается вообще [3],

иначе некоторые талломовы могли бы достигать невероятно крупных размеров. К тому же вряд ли существует какое-то физиологическое свойство накипных лишайников, обуславливающее внезапный переход от нелинейного их роста к линейному. Логично предположить, что замедление годовых приростов лишайников происходит постепенно, пропорционально одному или нескольким параметрам замедления, а их развитие в целом подобно онтогенезу⁵ других организмов.

Руководствуясь подобными соображениями, Дж. А. Метьюс [19] предложил уравнение, использующее логарифмическую функцию:

$$\log(t+c) = a+bx,$$

где t – возраст поверхности; x – диаметр максимальной особи лишайника-индикатора; a , b и c – коэффициенты, зависящие от особенностей используемого вида и физико-климатических условий района датирования. Данное уравнение отражает представления Р. Е. Бешеля о фазе быстрого нелинейного роста и следующей за ней «линейной» фазе, однако его кривая противоречит условию об ограничении роста талломов лишайников, поскольку не имеет горизонтальной асимптоты.

В модели из четырёх уравнений, выведенной А. А. Никоновым и Т. Ю. Шебалиной [11] для *Leucanora muralis* (Leucanora muralis) в районах Средней Азии, в качестве функции роста используется закон убывающей экспоненты Т. Р. Мальтуса⁶. Компьютерная проверка этой модели на разных выборках лишайника рода *Rhizocarpon* секций *Rhizocarpon* и *Alpicola* показала, что в большинстве случаев система не имеет решения. По-видимому, авторами принято ошибочное допущение, что дисперсии ежегодных приростов разных лет в одной и той же локальной популяции распределены по нормальному закону. Из этого следует, что если конкретный лишайник в популяции обогнал в росте за какой-то год другие особи, то это не

значит, что в другие годы он будет расти быстрее. В следующие годы по данной модели будут расти быстрее другие особи. Однако этот тезис полностью противоречит закономерностям популяционно-ценотических отношений в локальных сообществах, выделению доминантов и аномальных талломов [3].

При наличии достаточного количества разновозрастных датированных поверхностей в одном ландшафтном районе, лихенометрическую кривую можно построить эмпирически. Для этого требуется представительное количество датированных реперных поверхностей разного возраста.

Автором предложен способ построения приближённой кривой роста с использованием двух реперных поверхностей [3]. Первая – небольшого возраста (порядка 30 – 150 лет), который может быть определён по историческим дендрохронологическим и другим данным. Вторая – большого возраста, где размеры лишайника-индикатора достигают максимальных (предельных) значений. Такие поверхности можно определить по ряду геоморфологических признаков.

В качестве функции замедления роста нами использована убывающая экспонента. Для оценки минимального времени экспонирования какой-либо каменной морфоскульптуры необходимо решить систему из трёх уравнений:

$$d \approx a_0 f (1 - e^{-vt});$$

$$d_1 \approx a_0 t;$$

$$d_6 \approx a_0 f,$$

где d – значение индекса возраста на датированной поверхности; d_1 – значение индекса возраста на молодой реперной поверхности, время экспонирования которой известно посредством альтернативных методов; d_6 – значение индекса возраста на поверхности большого времени экспонирования, где лишайники вида-индикатора достигают предельных, наиболее крупных размеров. Построенные по данным уравнениям кривые роста Ризокарпона географического в целом удовлетворяют условию об ограниченности роста и жизни лишайников-индикаторов [3].

Дальнейшие исследования показали, что действительная функция роста лишайников-индикаторов даже имеет экстремум и описывается полиномиальным⁷

трендом, поскольку после достижения некоторой максимальной величины наблюдаемые диаметры талломов лишайника-индикатора уменьшаются в результате развития сукцессий, выветривания и разрушения морфоскульптурных поверхностей [3]. Это показано на примере построения кривой роста *Rhizocarpon* sp. в Корякском хребте на основе реперных поверхностей, датированных космоизотопным и историческим методами (рис. 4). Кривая *Rhizocarpon* sp. описывается полиномиальным трендом:

$$y = -3E - 06x^2 + 0,0565x - 1.$$

Поскольку уравнения имеют несколько решений, то для выбора значения возраста необходимо использовать некоторые дополнительные условия (характеристи-

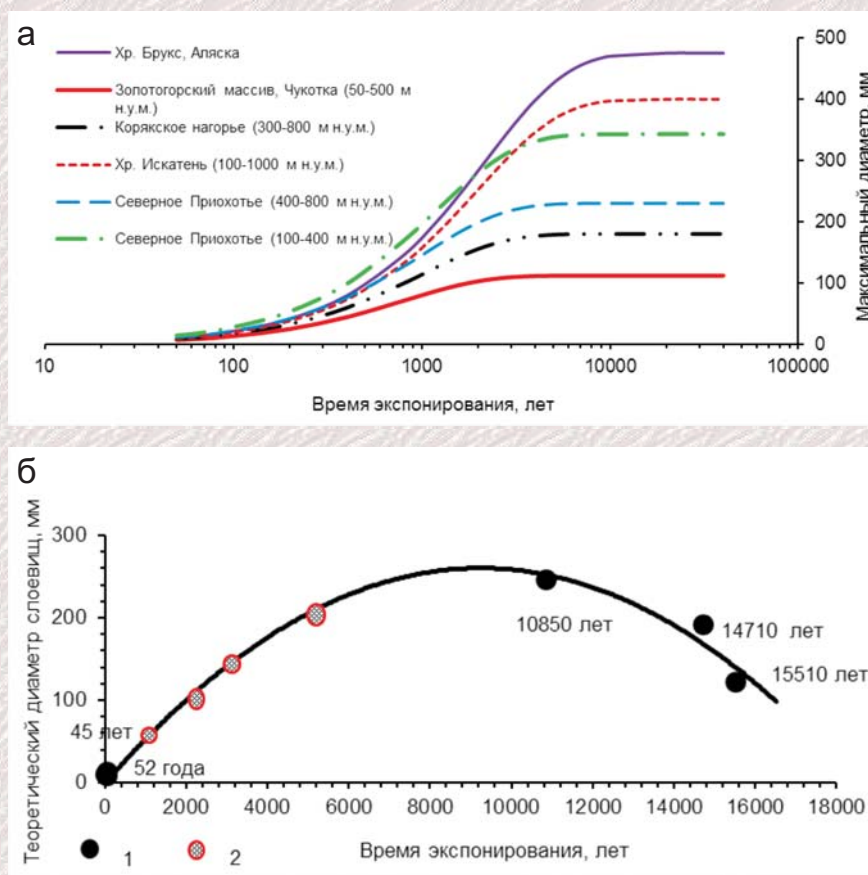


Рис. 4. Кривые роста Ризокарпона географического (*Rhizocarpon* sp.), построенные различными методами:
а – кривые роста, построенные для некоторых районов Северо-Востока России и хребта Брукс (Аляска) с использованием в качестве индексов возраста максимального теоретического диаметра лишайника-индикатора, предсказанного логарифмическим трендом вариационного ряда;
б – полиномиальная кривая роста, построенная для аркто-альпийских ландшафтов Чукотки по космоизотопным датировкам [3]: 1 – реперные площадки известного возраста; 2 – недатированные стадияльные голоценовые морены Мейныпильгинского массива.

⁷ Полиномиальные кривые (функции) имеют общий вид $(a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3)^n$ и решаются с помощью преобразований (бинома) Ньютона. Квадратные функции (уравнения) являются частным случаем полинома. Полиномиальные функции обычно имеют один или несколько экстремумов (перегибов) и несколько решений.

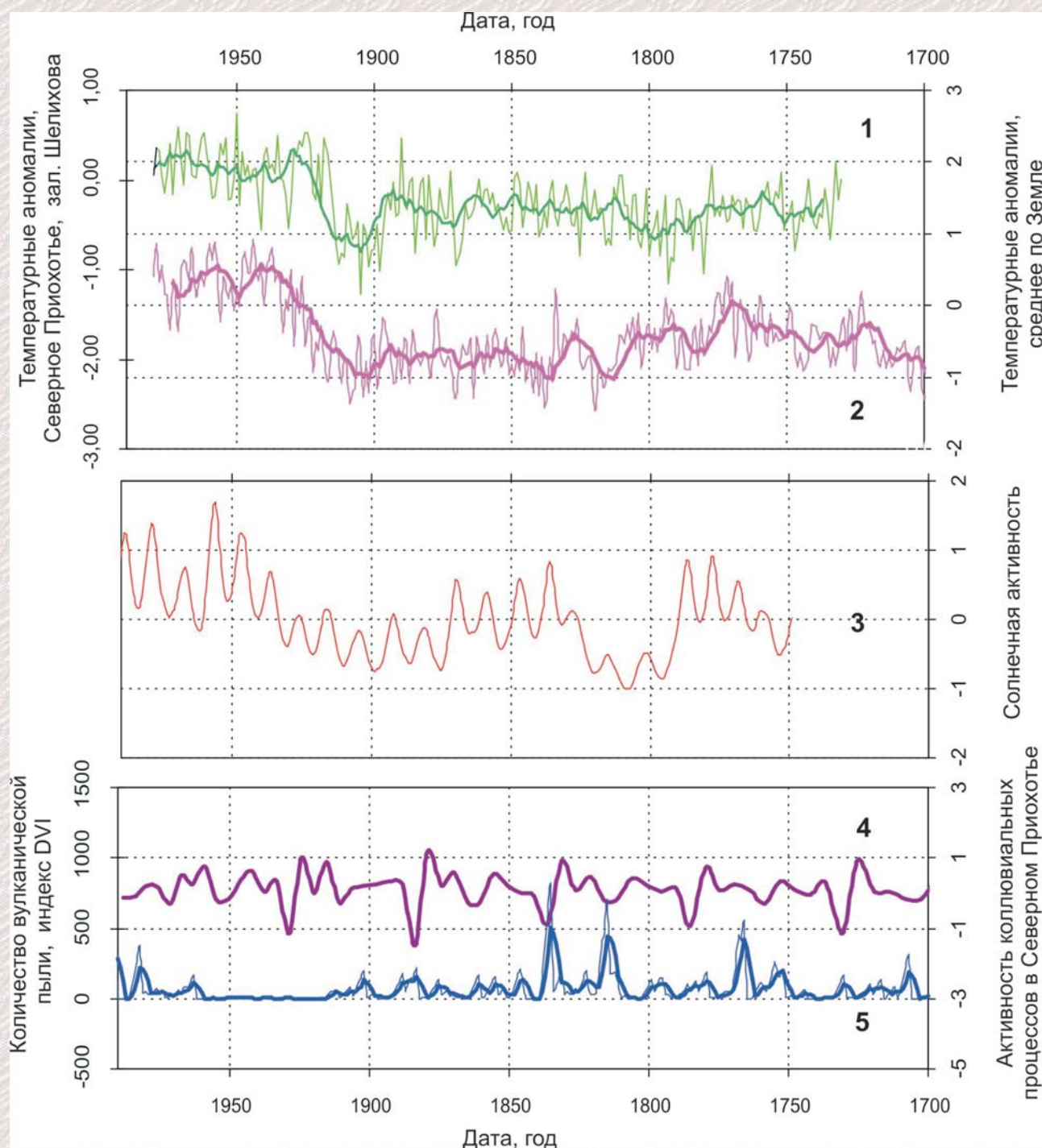


Рис. 5. Ритмичность и периодичность некоторых природных процессов в Северном Приохотье в сравнении с глобальными ритмами:

1 – среднегодовые температуры в Северном Приохотье; 2 – глобальные среднегодовые температуры; 3 – солнечная активность; 4 – интенсивность (динамика) мерзлотно-гравитационных процессов в Северном Приохотье, рассчитанная на основе метода лихенометрической триангуляции; 5 – глобальная вулканическая активность (концентрация вулканической пыли в земной атмосфере).

На графиках отражены результаты осреднения скользящим пятилетним окном. Температура приведена в отклонениях от современной; солнечная активность и активность склоновых процессов – стандартизированные безразмерные единицы, указывающие на флуктуацию по отношению к среднему значению; концентрация вулканической пыли – в единицах DVI [22].

ка лишайниковой сукцессии, выявление эдификаторов⁸ и доминантов⁹). Для индикаторов из рода *Rhizocarpon* sp. они рассмотрены в [3]. Полиномиальные кривые обладают меньшей точностью, но позволяют получать грубые лихенометрические оценки возраста за весь голоценовый интервал. Кроме того, они не противоречат принципам популяционной динамики, предусматривают наличие не только пространственного, но и временного экологического оптимума¹⁰ в развитии покрова эпилитных лишайников.

Применение лихенометрического метода для изучения динамики перигляциальных процессов

Непрерывный процесс подселения молодых особей лишайников и процесс омоложения экспонируемой каменистой поверхности в результате криогенных и гравитационных явлений приводят к возникновению некоего интеграционного процесса динамики размерно-возрастной структуры локальной их популяции. Так, в ходе движения обломков осыпи некоторая часть лишайникового покрова может уничтожаться, а на свежей поверхности поселяются новые молодые особи. В результате устанавливается некое подвижное равновесие между ростом лишайников и их отмиранием в результате переворачивания обломков пород. Этот процесс выражается в размерно-возрастной структуре локальной лишайниковой колонии. Чем интенсивнее процесс обновления экспозиции, тем моложе популяция, причём обновление экспозиции может происходить не только в результате переворачивания обломков пород, но и в ходе погребения под свежими порциями осыпавшегося или сползающего материала. Так, на наиболее активных поверхностях, например, русловых галечниках, «живых» осыпях, лишайниковый покров представлен точечными особями, возраст которых не превышает 5 – 10 лет, в то время как на малоподвижных образованиях (скалы, курумы) лишайниковый покров отличается крупными особями и сплошным покрытием. Если какая-то геоморфологическая форма была активной (например, фронтальный осыпной откос каменного глетчера), а потом по причине климатических изменений перешла в пассивное состояние, то на ней начинается нормальное развитие популяции. Через определённое время локальное сообщество достигает климаксовой стадии¹¹. Периодическая активизация того или иного процесса приводит к формированию полимодальных распределений. На динамически активных каменных поверхностях климаксовая стадия никогда в полной мере не достигается за счёт непрерывного обновления экспозиции, а также циклических климатических осцилляций¹².

В 1982 г. Дж. Иннес [20] провёл лихенометрическое датирование 780 щебнисто-глыбовых потоков в нескольких районах Шотландии. Оказалось, что возраст всех потоков не превышает 500 лет, причём частотное распределение диаметров талломов имеет полимодальный характер. Последняя фаза активизации процессов связывается с увеличением увлажнённости климата в течение «Малого ледникового века» в XIX и начале XX вв. [20].

Квазипериодические процессы нарушения экспонируемой поверхности нередко приводят к уничтожению значительной части лишайниковых колоний [21], поэтому частотные распределения больших выборок характеризуются наличием множества мод. Для исследования таких распределений целесообразно использовать математический аппарат временных функций [22]. Применение анализа Фурье¹³ позволяет выявлять ритмичность и периодичность мерзлотно-склоновых процессов, связанных с образованием, трансформацией или разрушением каменистых поверхностей рельефа и устанавливать взаимосвязи с колебаниями региональных и глобальных климатических параметров (рис. 5).

Подводя некоторые итоги, основываясь на собственных данных и опыте зарубежных коллег, можно уверенно заключить, что лихенометрический метод не только позволяет выполнять датировки в диапазоне последних 2 – 3 тыс. лет, но даёт важную количественную информацию о позднеголоценовой динамике и современной активности различных криогенных процессов, связанных с формированием грубообломочных морфоскульптур. Вместе с тем адекватное применение этого метода требует тщательного и углублённого изучения закономерностей формирования и динамики лишайникового покрова на криогенных формах рельефа.

Список литературы

1. Beschel, R. E. A project to use lichens as indicators of climate and time / R. E. Beschel // *Arctic*. – 1957. – № 1. – P. 60.
2. Мартин, Ю. А. Лихенометрическая индикация времени обнажения каменистого субстрата / Ю. А. Мартин // *Экология*. – 1970. – № 5. – С. 16–24.
3. Галанин, А. А. Лихенометрия: современное состояние и направления развития метода / А. А. Галанин. – Магадан: СВКНИИ, 2002. – 74 с.
4. Никонов, А. А. Новый способ определения возраста сейсмодислокаций (на примере центральной зоны Хаитского землетрясения 1949 г.) / А. А. Никонов, Т. Ю. Шебалина // *Доклады АН СССР*. – 1978. – Т. 242, № 4. – С. 808–811.

⁸ Эдификатор – господствующий вид, сильно влияющий на структуру (в том числе и видовую) всего локального сообщества.

⁹ Доминант – наиболее многочисленный в локальном сообществе вид.

¹⁰ Экологический оптимум – совокупность условий среды, наиболее благоприятных для конкретного вида. В процессе развития сообществ и ландшафтов, а также сукцессионных смен, условия среды существенно меняются, поэтому экологический оптимум имеет и временную мерность.

¹¹ Климаксовая стадия характеризует конечную фазу развития сообществ и достигается в стабильных ландшафтно-климатических (плакорных) условиях. На климаксовой стадии сукцессионные смены затухают. Далее динамика растительных сообществ происходит на более низких уровнях организации (синузий и парцелл).

¹² Климатические осцилляции – периодические изменения климатических параметров. Различают десятилетние, вековые, 1800-летние и другие климатические циклы.

¹³ Анализ Фурье, гармонический и спектральный (математические) анализы – термины-синонимы – предназначены для изучения случайных временных функций на предмет выявления их периодических (гармонических) составляющих.

5. Bull, W. B. Lichen dating of earthquake-generated regional rock-fall events, Southern Alps, New Zealand / W. B. Bull, M. T. Brandon // *GSA Bull.* – 1998. – Vol. 110, № 1. – P. 60–84.
6. Галанин, А. А. Динамика гравитационных склоновых процессов в горах Северного Приохотья в позднем голоцене, лишенометрическая методика их моделирования и прогноза / А. А. Галанин, В. Н. Смирнов // *Геоморфология.* – 2004. – № 3. – С. 67–75.
7. Галанин, А. А. Лишайниковый симбиоз – первая попытка колонизации суши / А. А. Галанин // *Наука и техника в Якутии.* – 2011. – № 1 (20). – С. 12–18.
8. Beschel, R. E. Dating rock surfaces by lichen growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry) / R. E. Beschel // *Geology of the Arctic 2.* – Toronto: University of Toronto Press, 1961. – P. 1044–1062.
9. Denton, G. H. Lichenometry: its application to Holocene moraine studies in southern Alaska and Swedish Lapland / G. H. Denton, W. Karlen // *Arctic and Alpine Research.* – 1973. – № 5. – P. 347–372.
10. Innes, J. L. Lichenometry / J. L. Innes // *Progress in Physical Geography.* – 1985. – V. 9, № 2. – P. 187–254.
11. Никонов, А. А. Лишенометрический метод датирования сейсмодислокаций (методические аспекты и опыт использования в горах юга Средней Азии) / А. А. Никонов, Т. Ю. Шебалина. – М.: Наука, 1986. – 185 с.
12. Locke, W. W. A manual for lichenometry / W. W. Locke, J. T. Andrews, P. J. Webber // *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin.* – 1979. – № 26. – P. 3–45.
13. Birkeland, P. W. Subdivision of Holocen glacial deposits, Ben Ohau Range, New Zealand, using relative-dating methods / P. W. Birkeland // *Bull. of the Geol. Society of America.* – 1982. – № 93. – P. 433–449.
14. Andrews, J. T. Lichenometry to evaluate changes in glacial mass budgets as illustrated from north-central Baffin Island / J. T. Andrews, P. J. Webber // *Arctic and Alpine Research.* – 1969. – № 1. – P. 181–194.
15. Stork, A. Plant immigration in front of retreating glaciers, with examples from the Kebnekasje area, northern Sweden / A. Stork // *Geografiska Annaler.* – 1963. – № 45. – P. 1–22.
16. Peve, T. L. Guidebook to permafrost and quaternary geology along the Richardson and Glenn highways between Fairbanks and Anchorage, Alaska / T. L. Peve, R. D. Reger; [Editors T. L. Peve, R. D. Reger]. – Fairbanks: University of Alaska, 1983. – 263 p.
17. Armstrong, R. A. Growth phases in the life of a lichen thallus / R. A. Armstrong // *New Phytologist.* – 1974. – № 73. – P. 913–918.
18. Соломина, О. Н. Ледники западной и северной периферии Тянь-Шаня за 2000 лет / О. Н. Соломина, О. С. Савоскул // *Геоморфология.* – 1997. – № 1. – С. 78–86.
19. Matthews, J. A. Experiments on the reproducibility and reability of lichenometric datas, Storbreen gletchervorfeld, Jotunheimen, Norway / J. A. Matthews // *Norsk geografisk Tidsskrift.* – 1975. – № 29. – P. 97–109.
20. Innes, J. L. Lichenometric dating of debris flow activity in the Scottish Highlands / J. L. Innes // *Earth Surface Processes and Landforms.* – 1983. – № 8. – P. 579–588.
21. Luckman, B. H. Estimating long-term rockfall accretion rates by lichenometry / B. H. Luckman, C. J. Fiske; [Slaymaker, O. (ed.)] // *Steepland Geomorphology.* John Wiley & Sons Ltd, 1995. – P. 233–255.
22. Галанин, А. А. Динамика и ритмичность природных процессов / А. А. Галанин // *Ландшафты, климат и природные ресурсы Тайгской губы Охотского моря.* – Владивосток: Дальнаука, 2006. – С. 92–98.

НОВЫЕ КНИГИ



Алексеев, В. Р. Криогенные строительные материалы. Формирование понятия, классификация, состояние изученности / В. Р. Алексеев, Р. В. Чжан ; отв. ред. Д. М. Шестернёв ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова. – Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2011. – 68 с.

Определяется содержание понятия «криогенные строительные материалы» (КСМ), предлагается схема их классификации, основанная на учёте вещественного состава, генетических и морфоструктурных признаков. Описываются характерные свойства, распространение и область применения 28 типов КСМ, объединённых в 4 класса – снег, лёд, ледогрунт и мёрзлый грунт. Оценивается состояние изученности криогенных материалов, формулируются задачи дальнейших исследований. В целях систематизации и рационального использования накопленных информационных ресурсов предлагается создать международный банк данных *Cryogenic Building Materials (CBM)* о распространении, свойствах, условиях, методах получения и опыте применения КСМ в различных регионах мира и разных отраслях хозяйства.

Для мерзлотоведов, гляциологов, геологов, инженеров-строителей и проектировщиков, работающих в области освоения холодных регионов земного шара.