

УДК 582.29
ББК 28.591.6
X 19

Ханов З.М.

Кандидат биологических наук, и.о. зав. лабораторией геоботанических исследований Института экологии горных территорий им. А.К. Темботова Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, тел. (8662) 42-24-97, e-mail: zalim_kh@mail.ru

Пшегусов Р.Х.

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории по мониторингу лесных экосистем Института экологии горных территорий им. А.К. Темботова Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, тел. (8662) 42-24-97, e-mail: p_rustem@inbox.ru

**О лихенометрических исследованиях в высокогорьях
Центрального Кавказа***
(Рецензирована)

Аннотация. *Рассматриваются возможности и перспективы применения одного из биоиндикационных методов определения возраста ледниковых морен – лихенометрии, основанной на использовании роста эпилитных лишайников. Данный метод может успешно применяться в мониторинге природных процессов, происходящих в высокогорьях Центрального Кавказа.*

Ключевые слова: *лишайник, лихенометрия, Центральный Кавказ, морены, ледник.*

Khanov Z.M.

Candidate of Biology, Acting Head of the Laboratory of Geobotanical Researches, Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Nalchik, ph. (8662) 42-24-97, e-mail: p_rustem@inbox.ru

Pshegusov R.Kh.

Candidate of Biology, Senior Scientist of the Laboratory of Monitoring of the Forest Ecosystems, Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Nalchik, ph. (8662) 42-24-97, e-mail: p_rustem@inbox.ru

**On lichenometric studies in the high-mountain territories
of the Central Caucasus**

Abstract. *The paper considers the prospects for application of the bioindicative method of the age determination in glacial moraines – lichenometry based on the use of epilithic lichen growth data. This method can be efficiently applied in monitoring of natural processes occurring in the high-mountain territories of the Central Caucasus.*

Keywords: *lichen, lichenometry, Central Caucasus, moraines, glacier.*

Мониторинг процессов, связанных с глобальным изменением природной среды, обуславливает необходимость использования современных методов исследования, в том числе и спутниковых технологий. Дистанционные методы наблюдения и оценки позволяют охватывать значительную площадь, включая труднодоступные территории, что особенно актуально для высокогорных регионов. При этом не менее актуально при исследовании, например, процессов формирования и динамики опасных явлений решение вопросов прогнозирования проводить на основе интеграции методов картографии, информатики и дистанционного зондирования. Изложенное можно наглядно продемонстрировать на примере подвижек ледников, снежных и ледяных лавин, катастрофических гляциальных селей, образующихся в зоне тектонически-активного высокогорного рельефа с оледенением [1]. Причем быстрое изменение последнего влияет на масштабы этих стихийно-разрушительных процессов природы.

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития»

Одним из таких регионов является Кавказ, история изучения оледенения, которого насчитывает уже полтора столетия (Abich, 1875; цит. по [2]). В этой области достигнут существенный прогресс. Однако по сравнению со многими другими горноледниковыми районами земного шара (Альпы, горы Скандинавии и др.), детальность кавказских реконструкций еще очень низка, а основания для многих выводов – шаткие [2]. Активное использование биоиндикационных методов для датирования морен Кавказа началось в 1970-х годах [3]. Особенно успешно на первом этапе здесь применялся метод лихенометрии [3, 4], основанный на изучении возрастной структуры сообществ эпилитных лишайников, которые непрерывно колонизируют все вновь образующиеся в ландшафте каменистые поверхности.

За последние годы, однако, высказывалось мнение о том, что единая кривая роста лишайников не может быть представительной для разных районов Кавказа [5], и возникла потребность обобщить лихенометрические данные на новом уровне и выработать соответствующие рекомендации.

В связи с вышеизложенным, авторами были начаты лихенометрические исследования с целью оценки возможностей и перспектив их применения для изучения, реконструкции и прогнозирования динамических процессов в высокогорье, а также учитывая начальный этап исследований, проведение сравнительного анализа предлагаемых подходов и определение оптимальных лихенометрических методов в условиях Центрального Кавказа.

Материал и методы исследований

Материалом для исследования послужили данные полевых исследований 2012-2013 гг., собранные в национальном парке «Приэльбрусье». Основой для начала лихенометрических исследований послужили результаты работ по оценке динамики ледового покрытия крупных ледников (Шхельда, Кашкаташ, Башкара, Джантуган), для чего были заложены стационарные площадки для наблюдений динамики древесно-кустарниковой растительности на северном макросклоне Центрального Кавказа в условиях глобального изменения климата (рис. 1).

Оценка динамики ледового покрытия проводилась с использованием результатов обработки спутниковых снимков Landsat 7 ТМ летнего периода 1986 и 2011 годов как на основании прямых значений спектральных и тепловых каналов снимков, так и с помощью специализированных индексов, наиболее чувствительных к мощности ледового покрытия [6].

В качестве объекта лихенометрических исследований использовали самый популярный индикатор – циркумполярно распространенный лишайник ризокарпон географический (*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC.). Применение лишайников в качестве индикаторов возраста моренных отложений и образующихся на них сукцессий 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 [7]. Лихенометрическая съемка на моренах и зандровых поверхностях исследуемых ледников проводилась по стандартной методике [5]. На каждой моренной гряде определялись максимальные диаметры самых крупных особей корковых лишайников *R. geographicum*. Общее число замеров лишайников (по одному на каждом крупном валуне, который имеет не менее 50 см в диаметре) должно составлять несколько десятков, по-возможности до ста особей. Исследования в данном направлении нами только начаты и будут продолжены в последующем. В силу этого приводятся данные по 127 экземплярам *R. geographicum*, и результаты носят предварительный характер.

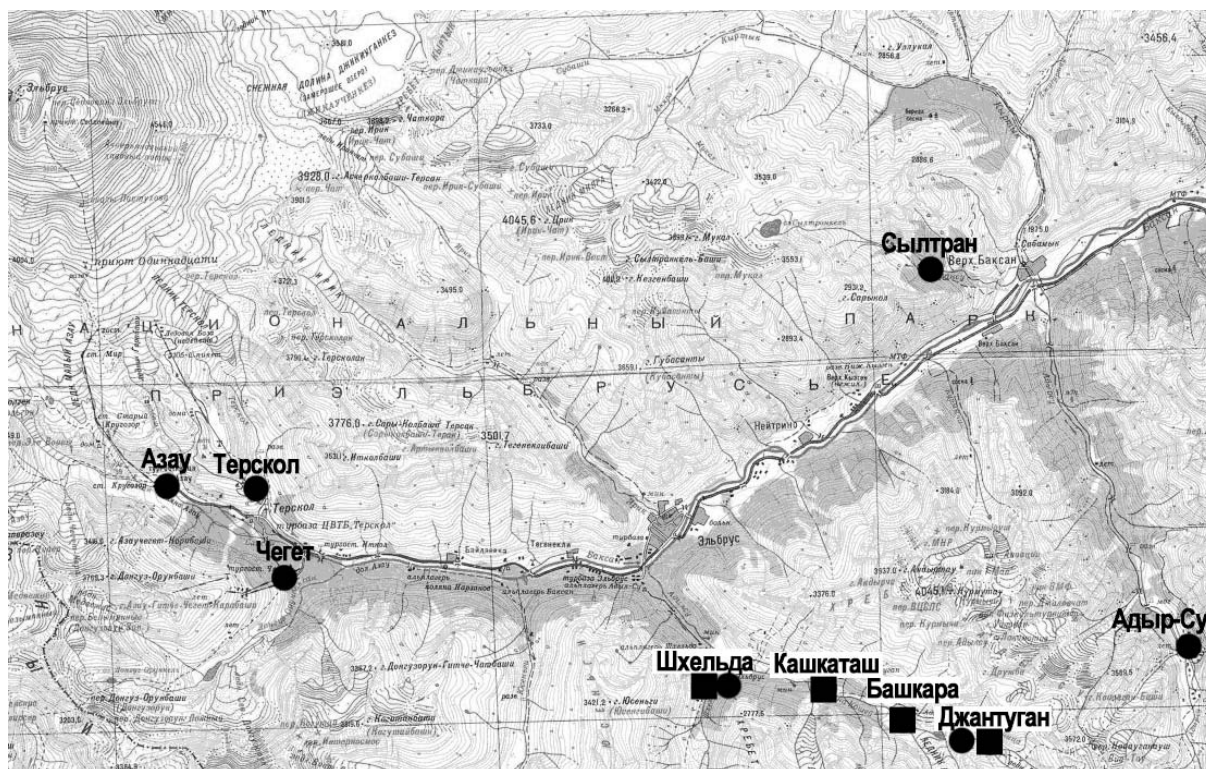


Рис. 1. Район проведения исследований и точки сбора материала:

- – стационарные площадки наблюдений динамики древесно-кустарниковой растительности;
- – районы проведения лишенометрических съемок

Результаты и их обсуждение

Фактическое отступление ледников и изменение границ ледового покрытия позволяет отслеживать формирование первичных сукцессий на моренных отложениях. К примеру, в результате проведенных работ было выявлено изменение границ ледового покрытия как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Общая площадь сокращения за 25-летний период согласно нашим исследованиям составила порядка 1 км^2 , максимальный вертикальный сдвиг – порядка 200 м (ледник Кашкаташ), максимальный горизонтальный сдвиг – 498 м (ледник Шхельда) (табл. 1).

Таблица 1

Динамика ледников Баксанского ущелья

Ледник	Динамика границ, м		Площадь сокращения, км^2
	по вертикали	по горизонтали	
Шхельда	60	498	0,25
Кашкаташ	200	417	0,28
Башкара	30	243	0,12
Джантуган	70	337	0,29

Также отмечено, что на участке верховьев реки Шхельда подрост сосны за последние 15 лет продвинулся вслед за отступающим ледником на 2,5-3 км. Сходная картина наблюдается и для лесного участка в районе ледника Кашкаташ. При продвижении от стены материнского леса к леднику прослеживается тенденция к уменьшению возраста подростка сосны Коха в среднем на 8-10 лет. Интерес в данном случае представляет то, что нами не было обнаружено ни одного лишайника на моренных отложениях моложе 10 лет, на участке между формирующимся подростом и границей ледника соответственно можно сказать, что минимальный временной отрезок между отступлением ледника и появлением лишайников составляет около 10 лет. Наши исследования,

проведенные в пределах 2272-2350 м над ур.м., показали, что на моренных выходах четырех изученных ледников обильно встречаются лишайники *R. geographicum*, однако их размерные характеристики различаются в зависимости от места произрастания. Так, диаметр талломов *R. geographicum* на моренах ледника Шхельда изменяется в пределах 30,30-100,00 мм. Средний диаметр их составляет 50,27±0,28 мм и значительно уступает таковым трех других ледников (табл. 2).

Таблица 2

Возраст и средний диаметр талломов *R. geographicum* на моренах долины ледников Баксанского ущелья

Название ледника	Возраст таллома, лет mean±St.Err.	Диаметр таллома, мм mean±St.Err.
Шхельда	175,79±9,23	50,27±0,27
Башкара	232,95±22,48	60,98±0,67
Кашкаташ	268,95±19,57	80,06±0,58
Джантуган	283,96±19,64	80,52±0,59

Лихенометрические исследования на различных участках пробных площадей позволили собрать материал и сформировать кривые роста лишайников согласно уравнению Мэтьюса [8] с учетом климатических характеристик района исследований:

$$\lg(y + 130) = 2,09 + 0,8115 \cdot 10^{-2} x,$$

где y – возраст лишайника в годах; x – диаметр максимальной особи в мм; 2,09 – логарифм возраста, при $x=0$; $0,8115 \cdot 10^{-2}$ – тангенс угла наклона кривой роста; 130 – коэффициент, дающий наибольшее приближение к линейности. Из полученных измерений следует: минимальный видимый диаметр лишайников – около 1 мм, что соответствует возрасту до 3-4 лет, максимальный диаметр составляет порядка 140 мм, что соответствует примерному возрасту 800-900 лет [9]. Подобные участки были отмечены на древних моренных отложениях ущелья Джантуган. Однако, как отмечает [1], расчетам по данному уравнению недостает критической оценки точности исходных данных, следствием чего является неоправданно завышенная точность датировки и высокое влияние среды произрастания на прирост лишайников.

В той же работе автор предлагает упрощенный метод расчета возраста лишайников, а именно: статистическую обработку данных по приросту лишайников, имеющих разную среду обитания [1]. При этом определяются отклонения от среднего значения прироста лишайника определенного размера, которые и характеризуют вероятную ошибку в определении возраста. Так, используя при датировке для разных диаметров исследуемого вида лишайника различную величину годового прироста, для 50-миллиметровых лишайников Приэльбрусья указывается возраст отложений около 175 лет. По сведениям [2], на Северном Кавказе годовой прирост *R. geographicum* составляет 0,30 мм/год. Соответственно определяемый по нашим измерениям средний возраст талломов на моренах ледника Шхельда составляет 175,79 лет. Учитывая, что на отложениях моложе 10 лет лишайники не обнаруживаются, средний возраст морен ледника Шхельда составляет по нашим оценкам около 180-190 лет.

Наиболее крупные лишайники отмечены на моренах в долине ледников Джантуган и Кашкаташ, где встречаются лишайники с диаметром до 165 мм. Статистически значимые различия в их размерах на моренах ледников Джантуган, Башкара и Кашкаташ не обнаружены. Возраст отложений ледника Кашкаташ, рассчитанный по методике И.С. Бушуевой [2], составляет около 280 лет, что значительно меньше данных, которые приводятся в [1] – 365 лет. Возможно, такие разночтения объясняются недостаточностью наших данных. На моренах ледника Башкара представлен самый разновозрастной состав лишайников, здесь отмечены талломы лишайников с минимальным размером –

2 мм. При этом средний размер таллома *R. geographicum* – 6,99 мм. Именно здесь наблюдаются наиболее разновозрастные лишайники от 66 до 553 лет. Средний возраст моренных отложений, рассчитанный нами по И.С. Бушуевой [2], около 240 лет, что согласуется с данными [1] – 210 лет.

Заключение

Фактическое отступление ледников и изменение границ ледового покрытия как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении позволило определить минимальный временной отрезок между отступлением ледника и появлением лишайников, который составляет по нашим данным около 10 лет, при этом наиболее молодые лишайники, с видимым размером около 2 мм, отмечены на моренных отложениях ледника Шхельда, наиболее быстро отступающего ледника. Проанализировав существующие методы расчета возраста лишайников и соответственно морен, нами выявлены расхождения в датировках на основании одних и тех же измерений, однако данные, полученные по среднему возрасту талломов *R. geographicum*, сопоставимы с литературными сведениями.

В целом, полученные результаты подтверждают возможность применения лихенометрических исследований для датировки этапов различных динамических процессов в горах, что в сочетании с другими методами исследований (дендрохронологии и пространственного анализа) делает их весьма эффективным инструментом для отслеживания закономерностей формирования и развития биогеоценозов в высокогорье.

Примечания:

1. Золотарев Е.А. Теоретические основы картографо-аэрокосмических технологий дистанционного мониторинга опасных гляциальных процессов высокогорных геосистем: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2013. 207 с.
2. Бушуева И.С. Колебания ледников на Центральном и Западном Кавказе по картографическим, историческим и биоиндикационным данным за последние 200 лет: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013. 207 с.
3. Турманина В.И. Перспективы применения фитоиндикационных методов в гляциологии. Фитоиндикационные методы в гляциологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 5-19.
4. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.
5. Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. М.: Научный мир, 1999. 262 с.
6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gislab.info>
7. Галанин А.А. Лихенометрический метод изучения криогенных процессов // Наука и техника в Якутии. 2012. № 1 (22). С. 8-15.
8. Голодковская Н.А. Лихенометрия морен и динамика ледников северного макросклона Центрального Кавказа за последние 700 лет // Известия АН СССР. Сер. География. 1981. № 6. С. 82-91.
9. Голодковская Н.А. Динамика ледников южного склона Центрального Кавказа за последние 700 лет (по лихенометрическим данным) // Мат. гляц. иссл. 1982. Вып. 45. С. 76-84.

References:

1. Zolotarev E.A. Theoretical foundations of cartographic and aerospace technologies of remote monitoring of dangerous glacial processes of high-mountain geosystems: Diss. for the Dr. of Geography degree. M., 2013. 207 pp.
2. Bushueva I.S. Oscillations of glaciers in the Central Caucasus and Western Caucasus according to cartographical, historical and bioindicative data for the last 200 years: Diss. abstract for the Cand. of Geography degree. M., 2013. 207 pp.
3. Turmanina V.I. Prospects of application of phytoindicative methods in glaciology. Phytoindicative methods in glaciology. M.: MSU Publishing House, 1971. P. 5-19.
4. Seynova I.B., Zolotarev E.A. Glaciers and mudflows of the Elbrus region (Evolution of glaciation and mud torrent activity). M.: Nauchny Mir, 2001. 203 pp.
5. Solomina O.N. A mountain glaciation of Northern Eurasia during the Holocene. M.: Nauchny Mir, 1999. 262 pp.
6. [Electronic resource]. URL: <http://www.gislab.info>
7. Galanin A.A. Lichenometric method of the study of cryogenic processes // Science and Engineering in Yakutia. 2012. No. 1 (22). P. 8-15.
8. Golodkovskaya N.A. Lichenometry of moraines and dynamics of glaciers of the northern macroslope of the Central Caucasus for the last 700 years // News of the USSR AS. Ser. Geography. 1981. No. 6. P. 82-91.
9. Golodkovskaya N.A. Dynamics of glaciers of the southern slope of the Central Caucasus for the last 700 years (according to lichenometric data) // The mat. of glaciology studies. 1982. Iss. 45. P. 76-84.