

## Изменение высотного распределения высокогорных растений по результатам многолетнего мониторинга в Катунском биосферном заповеднике (Центральный Алтай)

И. А. АРТЕМОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Центральный сибирский ботанический сад СО РАН  
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

<sup>2</sup> Государственный природный биосферный заповедник “Катунский”  
649490, Республика Алтай, с. Усть-Кокса, ул. Заповедная, 1  
E-mail: artemov\_1@mail.ru

Статья поступила 19.04.2017

Принята к печати 22.05.2017

### АННОТАЦИЯ

В Катунском биосферном заповеднике (Центральный Алтай) создан один из полигонов мировой сети GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments), состоящий из четырех горных вершин, соответствующих высотному градиенту от субальпийского до верхней части горно-тундрового пояса (2181, 2231, 2358 и 2475 м над ур. м.), для выявления влияния климатических изменений последних десятилетий на ботаническое разнообразие высокогорных экосистем. За время наблюдения с 2005 по 2015 г. на полигоне произошло смещение видов вверх в среднем на 5,3 м. Зарегистрировано увеличение числа видов на трех верхних вершинах полигона и уменьшение – на нижней.

**Ключевые слова:** альпийские экосистемы, разнообразие растений, климатические изменения, мониторинг, Алтай, Катунский заповедник, GLORIA.

Глобальное потепление и климатические изменения последних десятилетий сказываются на самых разных элементах биосферы в различных регионах Земли. В числе явлений, обусловленных этими процессами, имеет место экспансия в высокогорья растений нижележащих поясов растительности и изменение высотного распределения высокогорных видов. Это, в свою очередь, может оказаться причиной трансформации альпийских сообществ и конкурентного вытеснения аль-

пийских видов [Grabherr et al., 1994]. Для узколокальных эндемиков, произрастающих на горных вершинах у верхнего предела своего распространения, подобное развитие событий может представлять существенную угрозу [Pauli et al., 2003; Артемов, 2013].

Для выяснения мировых трендов и масштабов климатически обусловленных изменений растительного разнообразия в высокогорных экосистемах на факультете Природоохранной биологии, растительности и ландшафт-

ной экологии Венского университета в 2000 г. инициирована программа GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments). В ее рамках в качестве основы для получения многолетних рядов стандартизированных количественных данных создана сеть полигонов, каждый из которых представляет собой четыре вершины разного уровня, в идеальном случае соответствующие высотному градиенту от нижней границы высокогорий до нивального пояса. В настоящее время существует около 120 полигонов в более чем 40 странах на пяти континентах. В России полигоны по программе GLORIA созданы на Урале и в Алтае-Саянском регионе [Global Observation..., 2015].

В 2001 г. в рамках реализации программы получены первые данные (списки видов) для 66 вершин на 17 европейских полигонах, а в 2008 г. – проведены повторные наблюдения. При сравнении данных 2001 и 2008 гг. показано, что произошло смещение видов вверх на высоту от 2,5 до 5 м.

На большинстве вершин полигонов бореальной и умеренной зон число видов возросло в среднем на шесть (максимум на 25 в Центральных Пиренеях), тогда как на вершинах средиземноморских полигонов данный показатель сократился в среднем на два (максимум на девять в Центральных Апеннинах). При этом изменение числа видов оказалось наиболее существенным на менее высоких вершинах. Предположено, что его увеличение в высокогорьях бореальной и умеренной зон является следствием потепления климата, тогда как сокращение числа видов на средиземноморских вершинах произошло вследствие комплексного влияния возросших летних температур при стабильной или уменьшившейся сумме осадков [Pauli et al., 2012a, b].

Увеличение числа видов на горных вершинах в бореальной и умеренной зонах Европы и уменьшение их в Средиземноморье показывает, что ответ альпийских экосистем на глобальное потепление зависит от региональных условий. В связи с этим представляет интерес влияние глобального потепления на альпийские экосистемы Алтае-Саянского региона, существующие в условиях континентального и резко континентального климата.

Для указанного региона выявлено постепенное повышение среднегодовых темпера-

тур воздуха начиная с 1960-х гг., хотя температуры прироста, отмеченные для высокогорий, минимальны. Так, повышение среднегодовой температуры за 50 лет с 1963 по 2012 г. для метеостанций Аккем (2050 м над ур. м.) и Кара-Тюрек (2600 м над ур. м.) составило 1,7 и 1,3 °С соответственно, тогда как для Усть-Коксинской, находящейся в Уймонской котловине, эта цифра – 2,2 °С. Предполагается, что в будущем тенденция сохранится и в высокогорьях Алтае-Саянского региона произойдет сравнительно небольшое потепление при незначительном увеличении осадков [Шмакин и др., 2013].

К настоящему времени в нескольких заповедниках региона созданы полигоны GLORIA с целью мониторинга ответа альпийских экосистем на глобальное потепление: Катунском, Алтайском, Саяно-Шушенском, Кузнецком Алатау и Убсунурской котловине [Yashina, Artemov, 2011]. Первый из алтае-саянских полигонов организован в Катунском биосферном заповеднике в 2005 г. В 2005–2006 гг. на нем проведено первое наблюдение, а в 2015 г. – повторное. Сравнение особенностей распределения видов на вершинах полигона в годы обоих наблюдений позволяет получить данные, на основании которых можно судить о возможном влиянии глобального потепления на альпийские экосистемы региона и о региональных особенностях феномена.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Государственный природный биосферный заповедник “Катунский” находится в Центральном Алтае. Полигон GLORIA, организованный в его пределах и получивший обозначение АКА, расположен на южном макросклоне Катунского хребта в окрестностях оз. Тальмень. Он состоит из четырех вершин разной высоты, соответствующих высотному градиенту от субальпийского и нижней части горно-тундрового пояса до его верхней части: АМЕ (2181 м над ур. м.; 49°49'52" с. ш., 85°48'18" в. д.); АЛІ (2231 м над ур. м.; 49°50'08" с. ш., 85°48'45" в. д.); PRO (2358 м над ур. м.; 49°50'33" с. ш., 85°49'30" в. д.); LAD (2475 м над ур. м.; 49°51'09" с. ш., 85°48'38" в. д.) (рис. 1, 2). Перепад высот от нижней вершины до верхней составляет почти 300 м.

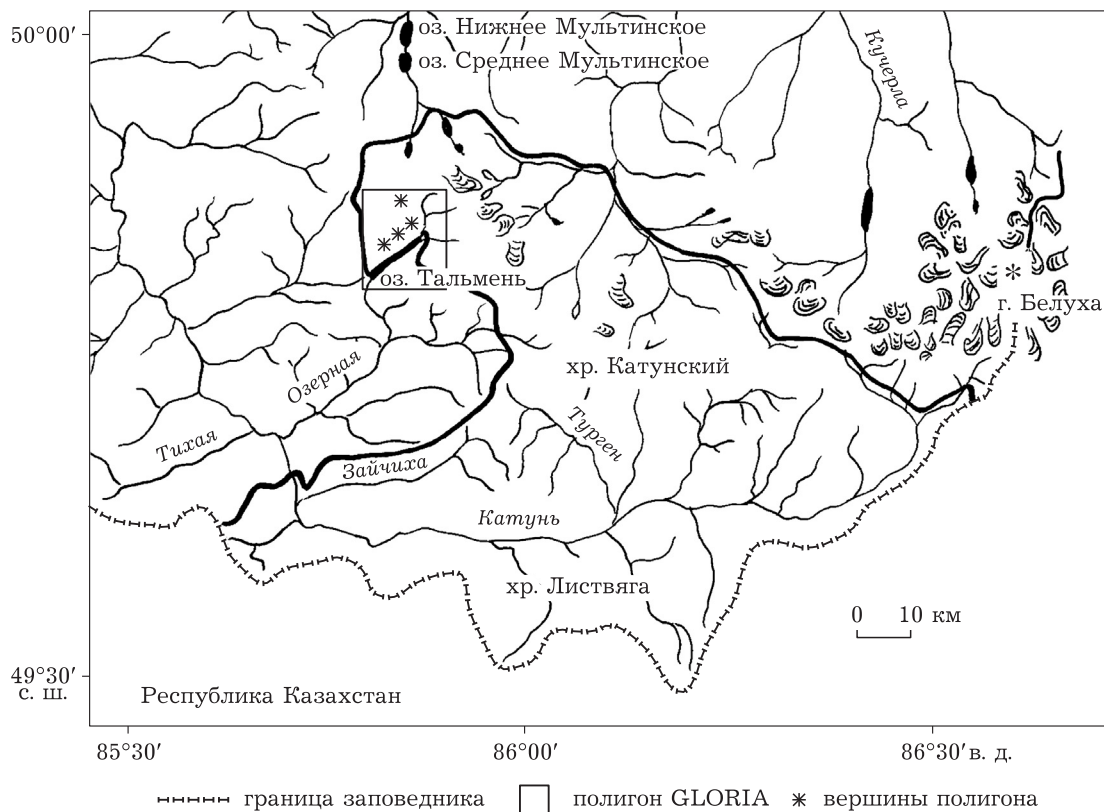


Рис. 1. Государственный природный биосферный заповедник “Катунский”

На каждой вершине, в соответствии с методикой GLORIA, размечено восемь секторов северного, южного, западного и восточного направлений на высотах 0–5 и 5–10 м от пика вершины, и по четыре квадрата площадью  $1 \text{ м}^3$  – на 5-метровом уровне на основных направлениях (рис. 3).

Площадь секторов зависела от формы вершин и крутизны склонов. Средняя площадь секторов 5-метрового уровня составила  $291 \pm 42 \text{ м}^2$ , 10-метрового –  $526 \pm 88 \text{ м}^2$ . Суммарная площадь секторов и, следовательно, обследованная площадь на вершинах полигона составила 3952, 5023, 1874, 2223  $\text{м}^2$  для вершин AME, ALI, PRO и LAD соответственно.

Растительные сообщества и группировки на вершинах полигона варьировали в зависимости от высоты над уровнем моря, экспозиции и особенностей субстрата. Так, на нижней вершине отмечены разнотравно-водоборовый хионофильный и разнотравно-злаково-сиббальдиевый альпийские луга, сиббальдиево-ивковая тундра, чернично-ба-

дановая и кошачьялапково-черничная пустоши, кустарники можжевельника по каменистой осыпи, петрофитные группировки с *Gymnocarpium jessoense* (Koidz.) Koidz. и *Woodsia ilvensis* (L.) R. Br. С увеличением высоты вершин в их растительном покрове возрастала доля низкотравных альпийских лугов и тундр. Так, на наиболее высокой вершине полиго-

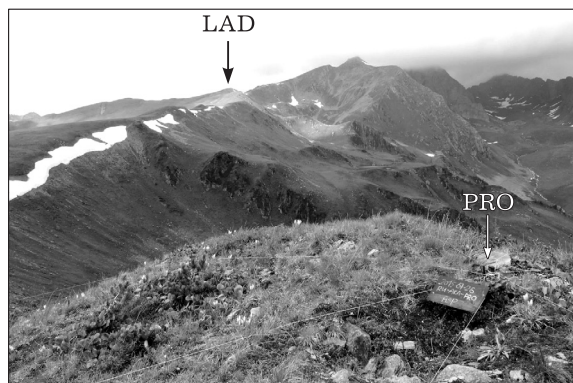


Рис. 2. Вершины PRO (2358 м над ур. м.) и LAD (2475 м над ур. м.) на полигоне GLORIA в Катунском заповеднике

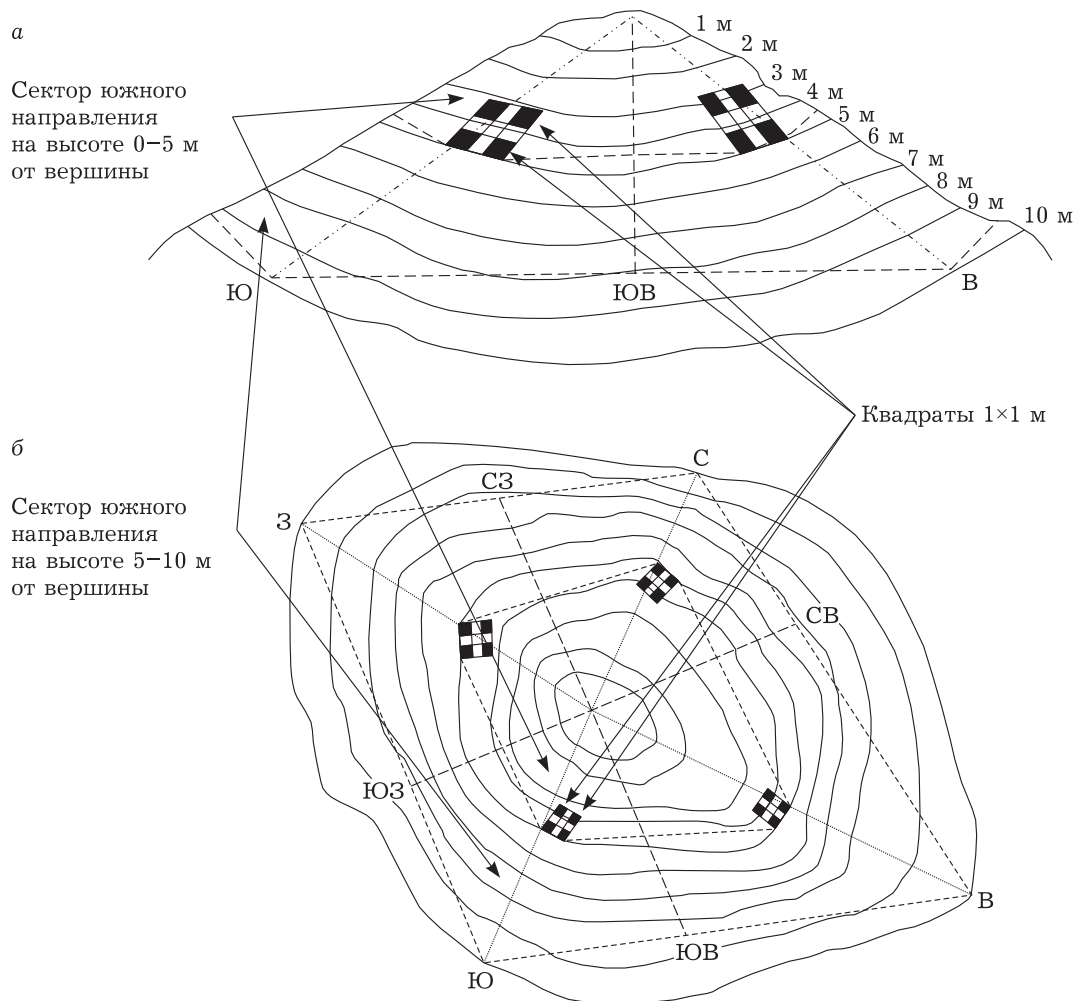


Рис. 3. Схема разметки вершины на восемь секторов и 16 квадратов [Pauli et al., 2015], вид сбоку (а) и сверху (б)

на наблюдались разнотравно-злаково-алтайско-сколотиново-сиббальдиевый и злаково-разнотравный альпийские луга, разнотравно-ивково-сиббальдиевая тундра, щебнистая осьпь со скальными выходами и отдельными дерновинами *Deschampsia altaica* (Schischk.) O. D. Nikif. Следует отметить, что растительность того или иного сектора зачастую являлась неоднородной, что не противоречит основной задаче проекта, заключающейся в выявлении высотного смещения видов, а не трансформации растительных сообществ.

В соответствии с методикой GLORIA для секторов и квадратов составляли списки видов с указанием их обилия в процентах проективного покрытия или с использованием качественных категорий (для секторов в 2015 г.). Также на квадратах производили подсчет

частоты видов с помощью рамки, разделенной на дециметровые ячейки. На всех вершинах на каждом из секторов 5-метрового уровня с помощью термодатчиков, закопанных на глубину 10 см, производили многолетнюю регистрацию температуры. Вершины, сектора и квадраты фотографировали [The GLORIA..., 2004, 2015]. В настоящей работе анализируется только незначительная часть полученных данных – списки и число видов на секторах и квадратах.

Общий список видов, отмеченных на вершинах полигона, и наличие/отсутствие видов на восьми секторах каждой вершины при первом и повторном наблюдении введены в базу данных (БД), созданную в Microsoft Access. С помощью БД составлялись списки видов и определялось их число для первого

и повторного наблюдений для полигона в целом, каждой вершины и секторов.

Для сравнения числа видов, отмеченных в секторах и квадратах соответствующих вершин в 2005/2006 и 2015 гг., и оценки статистической значимости количественных изменений видового богатства использовали парный критерий Уилкоксона (функция `wilcox.test` в среде R 3.2.2), позволяющий сравнивать зависимые выборки, происходящие из генеральных совокупностей, не подчиняющихся закону нормального распределения [Мастицкий, Шитиков, 2015].

С целью определения качественных изменений видового разнообразия составлены списки видов, выпавших или появившихся на вершинах за время наблюдения. При этом принималось во внимание обилие данных видов на секторах и экспозиция секторов, на которых они зафиксированы.

Для выявления тенденции в изменении высотного распределения растений для каждого вида, отмеченного на вершинах полигона в 2005/2006 и 2015 гг., рассчитывался высотный индекс для первого и повторного наблюдений [Pauli et al., 2012b]:

$$IND_{i, m} = \sum_{s=1}^n \Delta M_s \times SAS_{i, s, m} / \sum_{s=1}^n SAS_{i, s, m},$$

где  $\Delta M_s$  – относительная высота вершины  $s$  (AME – 0 м, ALI – 50 м, PRO – 177 м, LAD – 294 м);  $SAS_{i, s, m}$  – число секторов вершины  $s$ , в которых зарегистрирован вид  $i$  в год наблюдения  $m$ .

Рассчитанный таким образом высотный индекс  $IND_{i, m}$  представляет собой взвешенное среднее высотной приуроченности  $i$ -го вида в год наблюдения  $m$ . Разница между высотными индексами  $i$ -го вида для повторного и первичного наблюдения соответствует высотному смещению вида за время наблюдения, а среднее высотного смещения видов характеризует общую тенденцию для полигона. Для проверки статистической значимости различий между высотными индексами видов при первом и повторном наблюдении использовался парный критерий Уилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

За время наблюдений в 2005/2006 и 2015 гг. на полигоне зарегистрировано 147 видов выс-

ших сосудистых растений, относящихся к 110 родам и 40 семействам (табл. 1). В 2015 г. не зарегистрированы повторно (выпали) 13 видов и впервые отмечены (проникли) 10 видов. В результате общее разнообразие растений на полигоне сократилось со 137 до 134 видов.

При рассмотрении изменения видового состава для каждой вершины в отдельности также зафиксированы как проникшие, так и выпавшие виды. На трех верхних вершинах отмечено больше проникших видов, а на нижней – выпавших. Соответственно, на вершинах LAD, PRO и ALI общее число видов за время наблюдения выросло, а на вершине АМЕ – сократилось, при этом изменения числа видов минимальны на верхней вершине и максимальны – на нижней (табл. 2, 3). Большинство как проникших, так и выпавших видов зафиксировано только в одном секторе соответствующей вершины и чаще всего в качестве редких или очень редких. Лишь три вида отмечены как произрастающие разреженно (*Lloydia serotina*, *Euphrasia altaica*, *Lagotis integrifolia*).

Для секторов статистически значимые изменения числа видов с  $p < 0,05$  отмечены для вершин PRO (увеличение) и АМЕ (уменьшение) (табл. 4).

Для квадратов статистически значимое уменьшение числа видов с  $p < 0,01$  зарегистрировано на вершине АМЕ (табл. 5).

Для проверки предположения о высотном смещении видов проведен анализ изменений высотного индекса для 124 видов, отмеченных на полигоне как при первом, так и при повторном наблюдении. Парный тест Уилкоксона показал  $p$ -значение существенно меньше 0,001 ( $p = 0,0008$ ), что позволяет сделать заключение о наличии статистически значимой разницы между высотными индексами видов в 2005/2006 и 2015 гг. Среднее смещение видов вверх за время наблюдения составило  $5,3 \pm 1,6$  м.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшие изменения в числе видов на нижних вершинах полигона согласуются с результатом, полученным Х. Паули с соавт. [Pauli et al., 2012a] для горных систем Европы.

Виды, зафиксированные в секторах на вершинах полигона в 2005/2006 и 2015 гг. (объем таксонов принимается в соответствии с Конспектом флоры Азиатской России [2012])

Семейство	Вид	Число секторов, в которых отмечен вид									
		AME		ALI		PRO		LAD			
		2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.	2006 г.	2015 г.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Botrychiaceae	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw.	3	2	0	0	0	0	0	0	0	
Athyriaceae	<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz	2	3	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Gymnocarpium jessoense</i> (Koidz.) Koidz.	3	3	0	0	0	0	0	0	0	
Woodsiaceae	<i>Woodсия ibensis</i> (L.) R. Br.	6	7	0	0	0	0	0	0	0	
Pinaceae	<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	3	3	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Picea obovata</i> Ledeb.	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	8	8	7	7	5	4	1	1	1	
Cupressaceae	<i>Juniperus pseudosabina</i> Fisch. et C. A. Mey.	2	0	3	3	0	1	0	0	0	
	<i>J. sibirica</i> Burgsd.	6	7	5	5	1	3	0	0	0	
Ranunculaceae	<i>Aconitum krylovii</i> Steinb.	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Anemonastrum crinitum</i> (Juz.) Holub	0	0	0	0	6	5	5	5	5	
	<i>Aquilegia glandulosa</i> Fisch. ex Link	8	8	8	8	8	8	2	5	5	
	<i>Pulsatilla nuttalliana</i> (DC.) Spreng.	4	3	4	4	0	0	0	0	0	
	<i>Ranunculus altaicus</i> Laxm.	6	7	5	6	5	5	7	7	7	
	<i>R. grandifolius</i> C. A. Mey.	5	5	6	6	3	3	0	0	0	
	<i>Thalictrum foetidum</i> L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Th. minus</i> L.	2	1	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Trollius altaicus</i> C. A. Mey.	0	0	2	2	0	0	0	0	0	
Papaveraceae	<i>Papaver pseudocrocens</i> Popov	0	0	0	0	1	1	2	1	1	
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pusillum</i> Ser.	0	0	0	0	0	1	0	3	3	
	<i>Dianthus superbus</i> L.	6	6	4	6	2	4	0	0	0	
	<i>D. versicolor</i> Fisch. ex Link	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	<i>Dichodon cerastoides</i> (L.) Rchb.	6	7	8	6	5	8	3	5	5	
	<i>Gastrolychnis uniflora</i> (Ledeb.) Tzvelev	0	0	0	0	2	2	0	0	0	
	<i>Minuartia biflora</i> (L.) Schinz et Thell.	8	7	8	6	4	6	7	8	8	

	<i>M. verna</i> (L.) Hiern	0	0	0	0	3	4	0	0
	<i>Silene graminifolia</i> Otth	3	1	3	5	0	0	0	0
	<i>Acetosa alpestris</i> (Jacq.) A. Löve	6	5	7	7	5	6	0	1
Polygonaceae	<i>Aconogonon alpinum</i> (All.) Schur	7	6	5	7	7	7	0	0
	<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	8	8	7	7	8	8	7	8
	<i>B. vivipara</i> (L.) Delarbre	0	0	0	0	1	0	2	0
	<i>Rheum altaicum</i> Losinsk.	1	0	0	0	0	0	0	0
Ericaceae	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	8	8	8	8	7	7	0	1
Primulaceae	<i>Androsace septentrionalis</i> L.	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Primula macrocalyx</i> Bunge	0	0	1	0	0	0	0	0
Salicaceae	<i>Salix glauca</i> L.	1	1	0	1	1	1	0	1
	<i>S. hastata</i> L.	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>S. turczaninowii</i> Laksch.	5	6	1	1	7	7	5	6
Violaceae	<i>Viola altaica</i> Ker Gawl.	8	7	8	8	8	7	8	8
	<i>V. biflora</i> L.	8	8	0	0	0	0	0	0
	<i>V. disjuncta</i> W. Becker	0	0	1	1	0	0	0	0
Brassicaceae	<i>Macropodium nivale</i> (Pall.) R. Br.	1	1	0	0	0	1	0	0
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia lutescens</i> Ledeb.	6	5	4	4	5	6	0	0
Crassulaceae	<i>Hylotelephium eversii</i> (Ledeb.) H. Ohba	0	1	3	3	0	0	0	0
	<i>Rhodiola rosea</i> L.	0	0	0	1	0	0	0	0
Saxifragaceae	<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch	8	8	8	8	8	8	2	2
	<i>Saxifraga aestivalis</i> Fisch. et C. A. Mey.	0	0	1	1	5	4	0	0
	<i>S. sibirica</i> L.	6	2	5	2	6	3	2	5
Rosaceae	<i>Alchemilla vulgaris</i> L. s.l.	7	6	6	6	8	8	1	1
	<i>Cotoneaster uniflorus</i> Bunge	6	4	5	4	4	5	0	0
	<i>Potentilla asiatica</i> (Th. Wolf) Juz.	7	7	5	4	3	3	0	0
	<i>P. gelida</i> C. A. Mey.	0	0	0	0	0	0	1	1
	<i>Rubus idaeus</i> L.	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>R. saxatilis</i> L.	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Sibbaldia procumbens</i> L.	8	8	6	7	8	8	7	8
	<i>Spiraea media</i> F. Schmidt	3	1	0	0	0	0	0	0
Onagraceae	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Holub	2	2	4	4	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Hedysarum austrosibiricum</i> B. Fedtsch.	7	7	7	8	6	7	6	6
	<i>Lathyrus humilis</i> (Ser.) Spreng.	1	0	0	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fabaceae	<i>Lupinaster pentaphyllus</i> Moench	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Oxytropis alpina</i> Bunge	0	0	0	0	4	4	0	0
	<i>O. altaica</i> (Pall.) Pers.	1	1	6	6	5	4	4	5
	<i>Trifolium repens</i> L.	0	0	0	0	0	0	1	0
Polygalaceae	<i>Polygala hybrida</i> DC.	2	1	0	0	0	0	0	0
Geraniaceae	<i>Geranium krylovii</i> Tzvelev	0	0	2	2	0	0	0	0
	<i>G. pseudosibiricum</i> J. Mayer	0	0	3	2	0	0	0	0
Santalaceae	<i>Thesium repens</i> Ledeb.	8	8	6	5	4	4	0	0
Caprifoliaceae	<i>Lonicera altaica</i> Pall. ex DC.	1	1	0	0	0	0	0	0
Valerianaceae	<i>Patrinia sibirica</i> (L.) Juss.	0	0	0	0	5	4	0	0
Apiaceae	<i>Bupleurum longifolium</i> L. subsp. <i>aureum</i> (Fisch. ex Hoffm.) Soó	0	0	3	2	0	0	0	0
	<i>Heracleum dissectum</i> Ledeb.	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Pachypleurum alpinum</i> Ledeb.	7	8	8	6	7	8	5	5
	<i>Schulzia crinita</i> (Pall.) Spreng.	5	5	8	8	8	8	8	8
	<i>Seseli condensatum</i> (L.) Rchb. f.	1	0	0	0	0	0	0	0
Campanulaceae	<i>Campanula glomerata</i> L.	1	0	0	0	0	0	0	0
Asteraceae	<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	8	8	8	7	6	6	1	3
	<i>Aster alpinus</i> L.	5	6	4	4	4	4	0	0
	<i>Cirsium helenioides</i> (L.) Hill	2	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Crepis chrysantha</i> (Ledeb.) Turcz.	0	0	0	0	5	5	4	4
	<i>C. lyrata</i> (L.) Froel.	1	1	3	3	0	0	0	0
	<i>Erigeron altaicus</i> Popov	7	6	4	4	0	0	0	0
	<i>E. uniflorus</i> L. subsp. <i>ericalyx</i> (Ledeb.) A. et. D. Löve	2	2	0	0	3	3	2	2
	<i>Fornicium carthamoides</i> (Willd.) Kamelin	5	5	7	7	0	2	0	0
	<i>Gnaphalium norvegicum</i> Gunnerus	8	8	8	8	8	7	5	5
	<i>Hieracium korshinskiyi</i> Zahn	8	7	8	8	8	7	1	1
	<i>H. krylovii</i> Nevski ex Schljakov	8	8	8	8	6	6	1	1
	<i>Jacobaea nemorenensis</i> (L.) E. Wiebe	4	3	0	0	0	0	0	0
	<i>Pilosella dubitzkii</i> (B. Fedtsch. et Nevski) Sennik.	0	2	0	3	0	0	0	0
	<i>Parnica ledebourii</i> (Heimerl) Serg.	6	5	6	6	7	7	0	0





1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iridaceae	<i>Iris bloudovii</i> Ledeb.	1	0	0	1	0	0	0	0
Alliaceae	<i>Allium flavidum</i> Ledeb.	5	4	4	6	2	2	0	0
	<i>A. schoenoprasum</i> L.	0	0	1	2	2	3	1	0
Juncaceae	<i>Luzula confusa</i> Lindeb.	0	0	0	0	2	1	0	1
	<i>L. multiflora</i> (Ehrh. ex Retz.) Lej. subsp. <i>sibirica</i> V. I. Krecz.	7	8	8	8	8	7	8	7
	<i>L. spicata</i> (L.) DC.	0	0	0	0	4	4	4	4
Cyperaceae	<i>Carex aterrima</i> Hoppe	8	7	8	8	8	8	8	8
	<i>C. brunnescens</i> (Pers.) Poir.	2	0	0	0	1	0	0	0
	<i>C. pediformis</i> C. A. Mey.	2	1	0	0	0	0	0	0
	<i>C. tristis</i> M. Bieb. subsp. <i>stenocarpa</i> (Turcz. ex V. I. Krecz.) T. V. Egorova	0	0	0	0	5	5	8	4
Poaceae	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	0	0	3	3	0	0	0	0
	<i>Anthoxanthum alpinum</i> A. et D. Löve	8	8	8	8	8	8	7	8
	<i>Avenula pubescens</i> (Huds.) Dumort.	0	1	3	4	0	0	0	0
	<i>Calamagrostis purpurea</i> (Trin.) Trin.	3	1	0	0	1	0	0	0
	<i>Deschampsia altaica</i> (Schischk.) O. D. Nikif.	1	0	4	4	3	5	6	6
	<i>Festuca kryloviana</i> Reverd.	8	8	7	8	8	8	8	8
	<i>Hierochloë alpina</i> (Sw.) Roem. et Schult.	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Phleum alpinum</i> L.	2	2	0	2	2	4	0	0
	<i>Poa attenuata</i> Trin.	0	0	2	3	2	4	0	0
	<i>P. sibirica</i> Roshev.	0	1	4	2	1	1	0	0
	<i>P. urssulensis</i> Trin.	6	7	1	0	0	1	0	0
	<i>Trisetum altaicum</i> Roshev.	8	8	8	5	8	8	7	8
	<i>T. mongolicum</i> (Hultén) Peschkova	0	0	0	0	0	0	2	3
	<i>T. sibiricum</i> Rupr.	0	0	0	1	0	0	0	0

Т а б л и ц а 2

## Число видов на вершинах полигона в 2005/2006 и 2015 гг.

Вершина	Число видов				Изменение числа видов
	2005/2006 гг.	2015 г.	проникших	выпавших	
LAD	48 (37)	51 (38)	6 (2)	3 (1)	+3 (+1)
PRO	73 (63)	79 (66)	10 (3)	4	+6 (+3)
ALI	81 (68)	88 (72)	11 (4)	4	+7 (+4)
AME	101 (76)	90 (71)	4 (1)	15 (6)	-11 (-5)

П р и м е ч а н и е. В скобках – число видов, отмеченных на двух и более секторах.

Т а б л и ц а 3

## Проникшие и выпавшие на вершинах виды с 2005/2006 по 2015 гг.

Вершина	Проникшие виды	Выпавшие виды
LAD	<i>Cerastium pusillum</i> <i>Lloydia serotina</i> <i>Acetosa alpestris</i> <i>Luzula confusa</i> <i>Salix glauca</i> <i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Bistorta vivipara</i> <i>Allium schoenoprasum</i> <i>Trifolium repens</i>
PRO	<i>Euphrasia altaica</i> <i>Lloydia serotina</i> <i>Fornicium carthamoides</i> <i>Lagotis integrifolia</i> <i>Cerastium pusillum</i> <i>Hierochloë alpina</i> <i>Juniperus pseudosabina</i> <i>Macropodium nivale</i> <i>Poa urssulensis</i> <i>Salix hastata</i>	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex brunnescens</i> <i>Bistorta vivipara</i> <i>Dasystephana septemfida</i>
ALI	<i>Euphrasia altaica</i> <i>Pilosella dublitzkii</i> <i>Veronica porphyriana</i> <i>Phleum alpinum</i> <i>Aconitum krylovii</i> <i>Androsace septentrionalis</i> <i>Iris bloudowii</i> <i>Larix sibirica</i> <i>Rhodiola rosea</i> <i>Salix glauca</i> <i>Trisetum sibiricum</i>	<i>Dianthus versicolor</i> <i>Lamium album</i> <i>Poa urssulensis</i> <i>Primula macrocalyx</i>
AME	<i>Pilosella dublitzkii</i> <i>Hylotelephium ewersii</i> <i>Avenula pubescens</i> <i>Poa sibirica</i>	<i>Veratrum lobelianum</i> <i>Thalictrum foetidum</i> <i>Eritrichium villosum</i> <i>Juniperus pseudosabina</i> <i>Carex brunnescens</i> <i>Saussurea latifolia</i> <i>Calathiana uniflora</i> <i>Campanula glomerata</i> <i>Cystopteris fragilis</i> <i>Deschampsia altaica</i> <i>Iris bloudowii</i> <i>Lathyrus humilis</i> <i>Lupinaster pentaphyllus</i> <i>Rheum altaicum</i> <i>Seseli condensatum</i>

П р и м е ч а н и е. Полу жирным шрифтом выделены виды, отмеченные в двух и более секторах.

Т а б л и ц а 4

Среднее число видов со стандартной ошибкой в секторах на вершинах полигона в 2005/2006 и 2015 гг.

Вершина	Среднее число видов в секторе		p
	2005/2006 гг.	2015 г.	
LAD	26,8 ± 1,6	28,9 ± 2,1	0,204
PRO	44,5 ± 3,4	47,0 ± 4,0	0,041
ALI	49,5 ± 4,9	50,4 ± 5,1	0,723
AME	57,9 ± 4,7	52,9 ± 4,5	0,034

П р и м е ч а н и е. p – вероятность нулевой гипотезы в парном тесте Уилкоксона.

Т а б л и ц а 5

Среднее число видов со стандартной ошибкой в квадратах на вершинах полигона в 2005/2006 и 2015 гг.

Вершина	Среднее число видов в квадрате		p
	2005/2006 гг.	2015 г.	
LAD	9,8 ± 1,6	9,0 ± 1,5	0,144
PRO	15,1 ± 0,8	14,9 ± 0,7	0,885
ALI	17,6 ± 1,8	16,2 ± 1,4	0,146
AME	18,9 ± 1,7	16,1 ± 1,4	0,004

П р и м е ч а н и е. p – вероятность нулевой гипотезы в парном тесте Уилкоксона.

Увеличение данного показателя на трех верхних вершинах полигона вполне соответствует тренду, отмеченному для горных систем бореальной и умеренной зон Европы [Michelsen et al., 2011; Pauli et al., 2012a, b], тогда как уменьшение общего числа видов, зарегистрированное на нижней вершине полигона и подтвержденное на уровне секторов и квадратов, более характерно для вершин средиземноморских полигонов [Pauli et al., 2012a, b]. В то же время результаты мониторинга на полигоне GLORIA в Южных Альпах, где проведены три наблюдения, показывают, что число видов на отдельных вершинах в течение нескольких лет может подвергаться флуктуации [Erschbamer et al., 2011]. Таким образом, отмеченное увеличение параметра на трех верхних вершинах полигона и уменьшение на нижней может являться как отражением его региональных особенностей, так и следствием кратковременных флуктуаций видового состава.

Среднее смещение видов вверх, зарегистрированное на полигоне в Катунском заповеднике ( $5,3 \pm 1,6$  м), сравнимо с таковым, полученным Х. Паули с соавт. [Pauli et al., 2012b] для вершин на европейских полигонах ( $4,2 \pm 1,41$  м).

Смещение видов в верхнем направлении иллюстрируется рядом примеров. Так, несколько видов при повторном наблюдении найдены на вышерасположенных вершинах: *Larix sibirica*, *Aconitum krylovii*, *Macropodium nivale* и *Euphrasia altaica*, отмеченные в 2006 г. на первой вершине, к 2015 г. проникли на вторую и третью вершины; *Fornicium carthamoides*, зарегистрированный в 2006 г. на многих секторах первой и второй вершин, в 2015 г. обнаружен на южном и восточном секторах третьей вершины; *Acetosa alpestris* и *Vaccinium myrtillus*, обычные на первой, второй и третьей вершинах, при повторном наблюдении отмечены на четвертой. Два вида зарегистрированы в 2015 г. как выпавшие на нижней вершине и проникшие на вышележащие: *Iris bloudowii* отмечен на второй вершине и *Juniperus pseudosabina* – на третьей. Высокогорный вид *Eritrichium villosum* выпал на первой вершине, где в 2006 г. отмечался на трех секторах, при его сохранении на второй и третьей вершинах. В качестве фактов, подтверждающих высотное смещение видов, по-видимому, следует рассматривать и проникновение на нижние вершины полигона видов, свойственных нижележащим поясам растительности. Это *Pilosella*

*dublitzkii*, отмеченная в 2015 г. на западных секторах первой вершины, а также южных и восточном секторах второй. На южные сектора второй вершины также проникли *Veronica porphyriana*, *Trisetum sibiricum* и *Androsace septentrionalis*.

В то же время ряд видов демонстрирует изменения в высотном распределении, которые возможно интерпретировать как смещение в нижнем направлении. Так, на нескольких секторах четвертой и третьей вершин в 2015 г. зарегистрированы высокогорные виды *Cerastium pusillum* и *Lloydia serotina*, ранее на вершинах полигона неотмеченные. На четвертой вершине выпал *Allium schoenoprasum* при сохранении на третьей и второй вершинах; на третьей вершине выпала *Dasystephanus septemfida* при сохранении на двух первых вершинах; на второй вершине выпала *Lamium album* при сохранении на первой вершине; на второй и первой вершинах на нескольких секторах выпала *Carex brunnescens*; на первой – *Cystopteris fragilis*, *Thalictrum foetidum*, *Rheum altaicum*, *Lathyrus humilis*, *Lupinaster pentaphyllus*, *Seseli condensatum*, *Campanula glomerata*, *Veratrum lobelianum*.

Кроме того, изменение высотного распределения некоторых видов не представляется возможным интерпретировать как смещение вверх или вниз. Например, *Phleum alpinum* к 2015 г. проник на вторую вершину, будучи зарегистрированным как при первом, так и при повторном наблюдениях на первой и третьей вершинах. Вполне вероятно, что определенное влияние на распределение видов оказывают локальные экотопологические и микроклиматические условия. Так, обычный субальпийский вид *Saussurea latifolia* к 2015 г. выпал на первой вершине, где в 2006 г. отмечен в двух секторах. При этом он сохранился на второй и третьей вершинах, а также оставался довольно обильным на субальпийском лугу на склоне ниже первой вершины. Нельзя исключать и элемент случайности в расселении видов. Например, в 2015 г. на второй и третьей вершинах полигона на отдельных секторах впервые зарегистрированы в качестве очень редких довольно обычные высокогорные виды *Salix hastata*, *Rhodiola rosea*, *Hierochloë alpina* и как произрастающий разреженно – *Lagotis integrifolia*. В 2006 г. эти виды на полигоне отсутствовали.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время с 2005/2006 по 2015 г. на высокогорном полигоне GLORIA в Катунском биосферном заповеднике произошло смещение видов вверх, сравнимое с таковым в горных системах Европы, что может рассматриваться как следствие глобального потепления климата. Увеличение числа видов на трех верхних вершинах полигона и уменьшение – на нижней, а также разнообразные изменения в высотном распределении ряда видов, могут обуславливаться как глобальными тенденциями, так и региональными особенностями климата либо его флуктуациями. Для оценки наличия или отсутствия тренда в динамике видового разнообразия растений на полигоне требуются дополнительные наблюдения как минимум еще через один десятилетний интервал. Для выяснения региональных особенностей в динамике биоразнообразия альпийских экосистем Алтае-Саянской горной страны желательно получение дополнительных сравнимых данных – результатов многолетних наблюдений в других заповедниках региона, принимающих участие в программе GLORIA.

Автор выражает искреннюю благодарность главе координационного совета GLORIA Н. Pauli за руководство и помощь при организации полигона GLORIA в Катунском заповеднике, заместителю директора Катунского заповедника по науке Т. В. Яшиной за общее руководство проектом в заповеднике и помощь при проведении полевых наблюдений, научным сотрудникам и государственным инспекторам Катунского заповедника В. Черепанову, И. Сорокину, А. А. Казанцеву, П. Г. Кудрявцеву, Г. П. Бочкареву, Г. Ракину, а также А. Pauli, Л. В. Яшиной, А. Габдуллиной, К. Кашину за помощь в проведении полевых наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

- Артемов И. А. Потенциально уязвимые в связи с глобальными климатическими изменениями виды растений Алтае-Саянского экорегиона // Растительный мир Азиатской России. 2013. № 1 (11). С. 97–102.
- Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения / Л. И. Малышев и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 640 с.
- Мастичкий С. Э., Шитиков В. К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.

- Шмакин А. Б., Харламова Н. Ф., Инсаров Г. Э., Михайлов А. Ю., Сухова М. Г., Останин О. В. Современный климат Алтае-Саянского экорегиона и его изменение // Изменение климата и биоразнообразие российской части Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск, 2013. С. 106–160.
- Erschbamer B., Unterluggauer P., Winkler E., Mallaun M. Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy) // *Preslia*. 2011. Vol. 83. P. 387–401. Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. URL: <http://www.gloria.ac.at> 2015 (дата обращения 15.05.2015).
- Grabherr G., Gottfried M., Pauli H. Climate effects on mountain plants // *Nature*. 1994. Vol. 369. P. 448.
- Michelsen O., Syverhuset A. O., Pedersen B., Holten J. I. The impact of climate change on recent vegetation changes on Dovrefjell, Norway // *Diversity*. 2011. N 3. P. 91–111.
- Pauli H., Gottfried M., Dirnböck T. et al. Assessing the long-term dynamics of endemic plants at summit habitats // *Ecol. Studies*. 2003. Vol. 167. P. 195–207.
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S. et al. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits // *Science*. 2012a. Vol. 336. P. 353–355.
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S. et al. Supplementary Materials for Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. 2012b. URL: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/336/6079/353/DC1> (дата обращения 15.09.2016).
- The GLORIA Field Manual – Multi-Summit Approach / eds. H. Pauli, M. Gottfried, D. Hohenwallner, K. Reiter, R. Casale, G. Grabherr. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004. 89 p.
- The GLORIA field manual – standard Multi-Summit approach, supplementary methods and extra approaches / eds. H. Pauli, M. Gottfried, A. Lamprecht, S. Niessner, S. Rumpf, M. Winkler, K. Steinbauer, G. Grabherr. 5th edition. Vienna: GLORIA-Coordination, Austrian Academy of Sciences & University of Natural Resources and Life Sciences, 2015. URL: [http://www.gloria.ac.at/downloads/GLORIA-FIELDMANUAL\\_5thEd\\_2015\\_ONLINE.pdf](http://www.gloria.ac.at/downloads/GLORIA-FIELDMANUAL_5thEd_2015_ONLINE.pdf) (дата обращения 15.05.2015).
- Yashina T., Artemov I. Monitoring climate change effects in the Katunskiy Biosphere Reserve (Russian Federation) // *Biosphere reserves in the mountains of the world. Excellence in the clouds*. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 2011. P. 53–56.

## Change of the Altitudinal Distribution of Alpine Plants According to the Results of Multiyear Monitoring in the Katunskiy Biosphere Reserve (Central Altai)

I. A. ARTEMOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Central Siberian Botanical Garden, SB RAS  
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101*

<sup>2</sup> *Katunskiy State Nature Biosphere Reserve  
649490, Altai Republic, Ust'-Koksa, Zapovednaya str., 1  
E-mail: artemov\_1@mail.ru*

One of target regions of a worldwide network GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) has been installed in the Katunskiy Biosphere Reserve (Central Altai) for revealing influence of climate changes on the plant diversity of alpine ecosystems during recent decades. The target region consists of 4 mountain summits selected according to the altitudinal gradient from the subalpine to the upper part of the alpine ecotone (2181, 2231, 2358, 2475 m.a.s.l.). Between 2005 and 2015, species in the target region shifted their distributions to higher altitudes by 5.3 m on average. Plant species richness increased on three higher summits and decreased on the lower summit.

**Key words:** alpine ecosystems, plant diversity, climate changes, monitoring, Altai, Katunskiy Biosphere Reserve, GLORIA.