

Феногенетическое разнообразие лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) на северо-востоке Азии

В.П. Ветрова¹, Н.В. Орешкова²

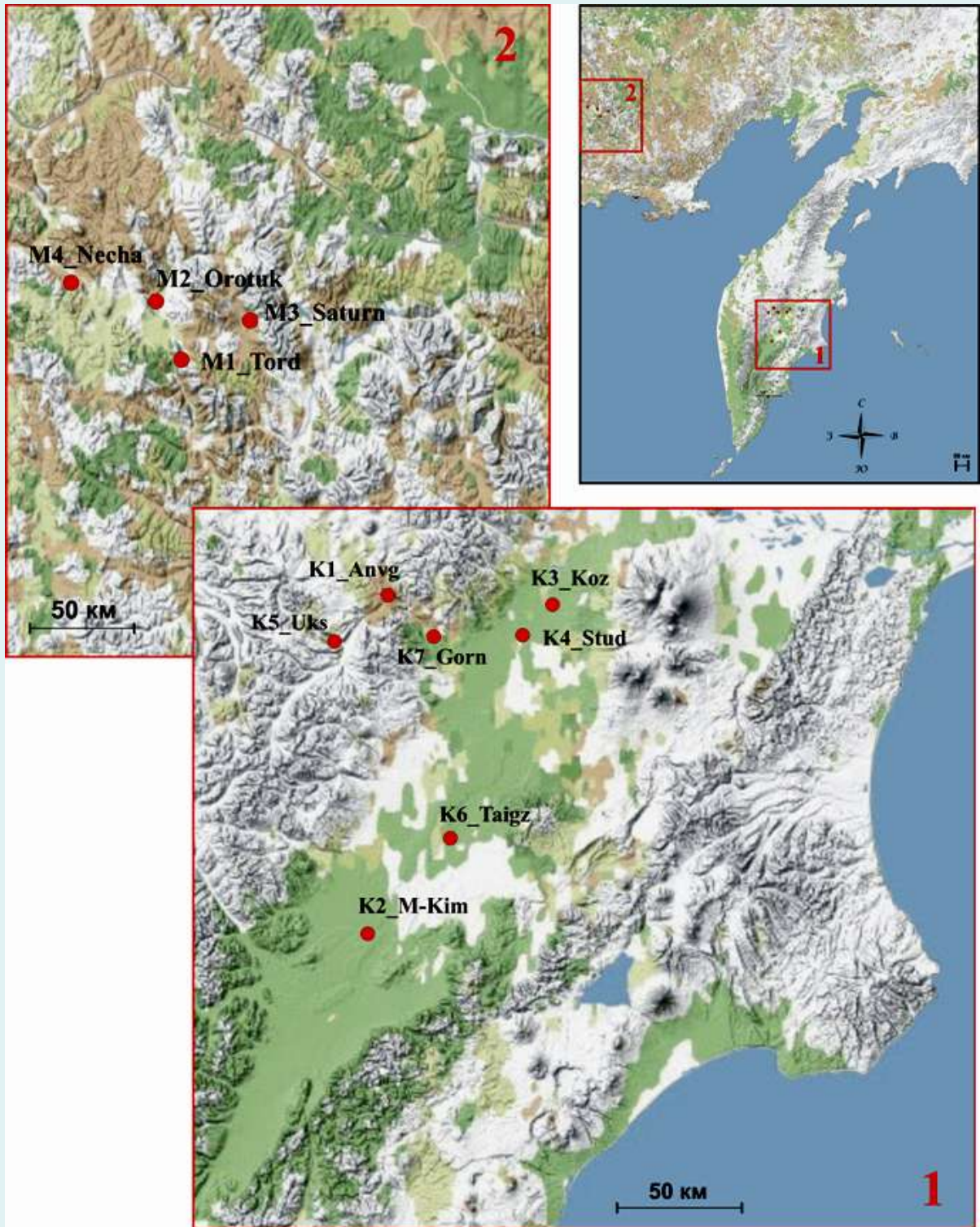
¹Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН.

²Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

**Цель исследований:
сопряженный анализ генетической и
фенотипической изменчивости лиственницы
Каяндера на востоке ареала**

Задачи:

- 1. Оценка генетического разнообразия и популяционной изменчивости лиственницы Каяндера с использованием ядерных микросателлитных маркеров.**
- 2. Фенотипический анализ изменчивости лиственницы с использованием геометрической морфометрии формы семенных чешуй шишек.**
- 3. Сравнение параметров внутри- и межпопуляционной изменчивости лиственницы по генетическим и фенотипическим маркерам.**



Карта-схема размещения популяционных выборок лиственницы Каяндера на Камчатке и в Магаданской области

Показатели генетической изменчивости лиственницы по результатам микросателлитного анализа

Значения показателей F-статистик Райта

| Локус | Число аллелей | F_{IS} | F_{IT} | F_{ST} |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>bcLK056</i> | 10 | 0,086 | 0,237 | 0,166 |
| <i>bcLK224</i> | 7 | 0,087 | 0,158 | 0,078 |
| <i>bcLK066</i> | 8 | 0,070 | 0,369 | 0,322 |
| <i>bcLK260</i> | 7 | 0,105 | 0,194 | 0,099 |
| <i>bcLK235</i> | 9 | 0,093 | 0,211 | 0,130 |
| <i>UAKLIy6</i> | 5 | 0,124 | 0,185 | 0,069 |
| <i>UBC-1-22</i> | 5 | 0,011 | 0,059 | 0,048 |
| <i>bcLK232</i> | 3 | -0,032 | -0,006 | 0,025 |
| Среднее | | 0,068 ±0,018 | 0,176 ±0,040 | 0,117 ±0,033 |

Дефицит гетерозиготных генотипов относительно популяции 7%;
дефицит гетерозигот относительно вида в целом 17%;
межпопуляционная изменчивость 11,7%;
внутрипопуляционная изменчивость 88,3%

Средние значения показателей генетического разнообразия лиственницы в исследованных популяциях

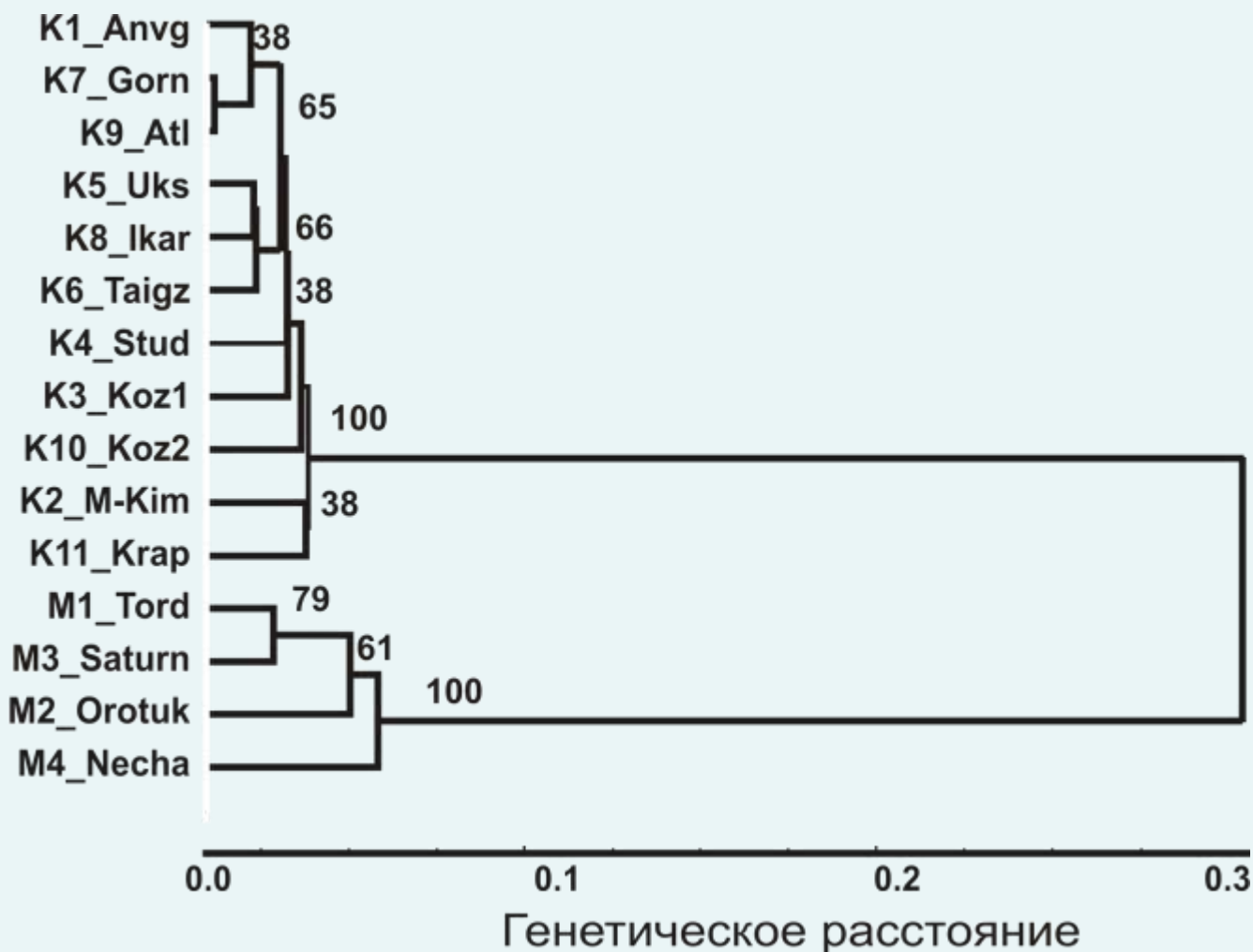
| Показатели | Камчатка | Магаданская область |
|---|-------------------------|--------------------------|
| N_A среднее число аллелей на локус | 3,49 ±0,14 | 4,53 ±0,25 |
| N_E эффективное число аллелей на локус | 2,03 ±0,07 | 2,62 ±0,22 |
| H_O наблюдаемая гетерозиготность | 0,38 ±0,02 | 0,53 ±0,04 |
| H_E ожидаемая гетерозиготность | 0,44 ±0,02 | 0,52 ±0,04 |
| Дефицит гетерозиготных генотипов F_{IS} | 0,135 ±0,014 | -0,031 ±0,044 |

Генетические расстояния D_{Nei} между географическими группами популяций лиственницы Каяндера и популяциями в пределах групп

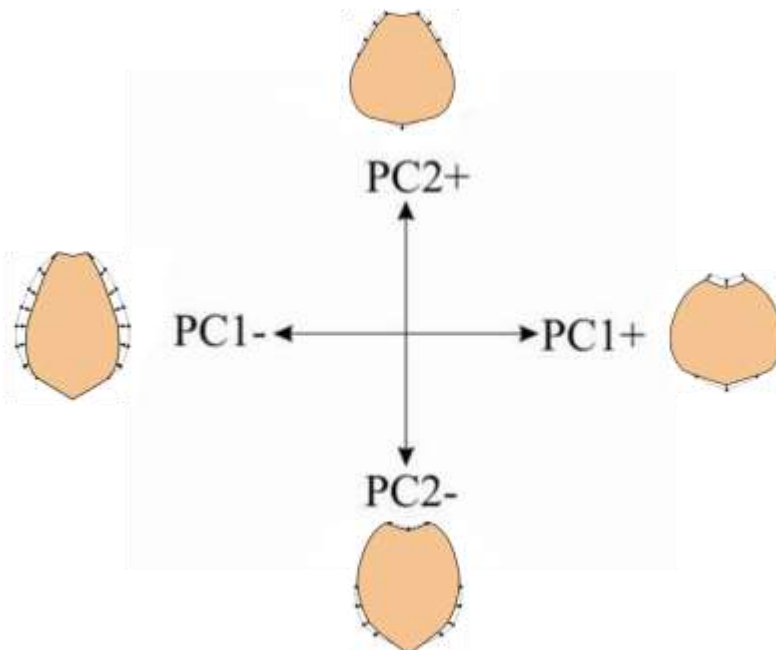
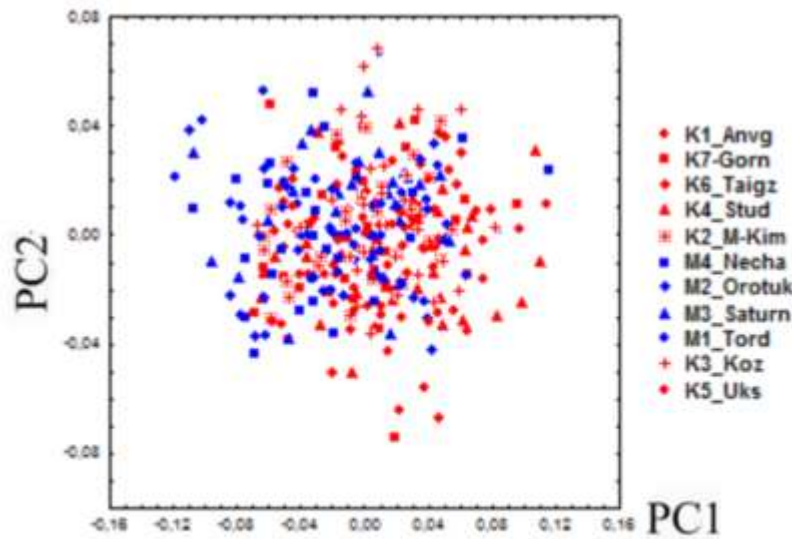
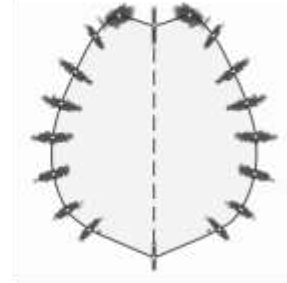
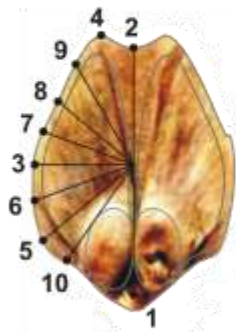
| Вариант сравнения | N | Расстояния D_{Nei} | | |
|-------------------|----|----------------------|---------|---------------------|
| | | Minimum | Maximum | Mean \pm Std.Dev. |
| Камчатка-Магадан | 15 | 0,282 | 0,458 | 0,364 \pm 0,043 |
| Камчатка | 11 | 0,014 | 0,068 | 0,037 \pm 0,013 |
| Магадан | 4 | 0,020 | 0,086 | 0,051 \pm 0,022 |

N - Число популяций

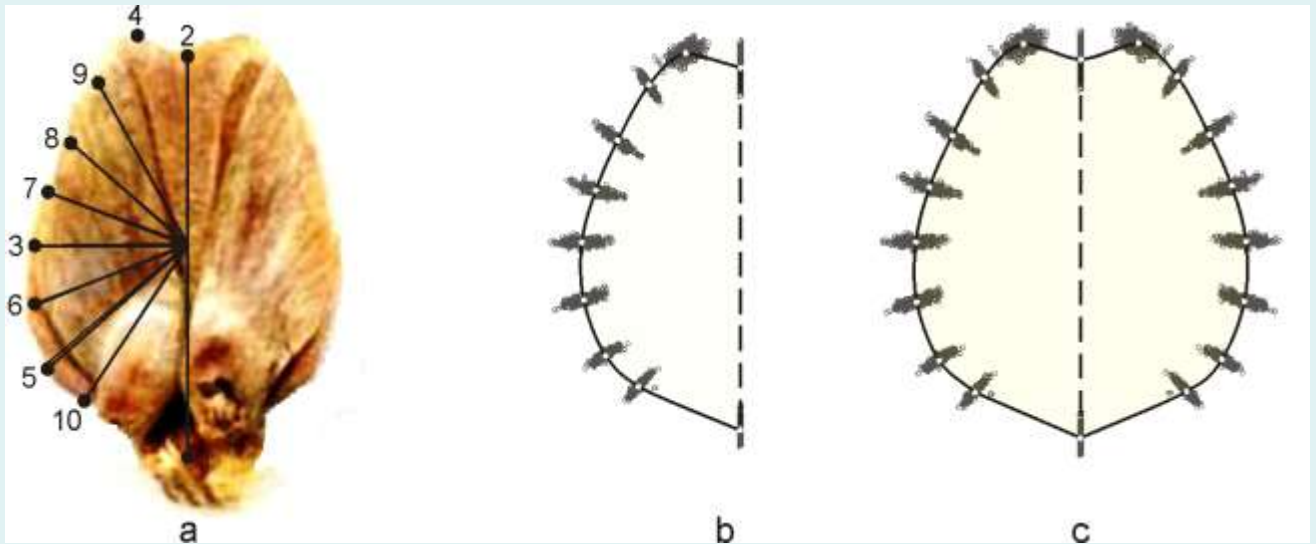
UPGMA-дендрограмма генетических расстояний D_{Nei} между изученными ценопопуляциями лиственницы по результатам SSR-анализа



Общая схема геометрической морфометрии семенных чешуй шишек лиственницы Каяндера



Геометрическая морфометрия семенных чешуй шишек лиственницы Каяндера



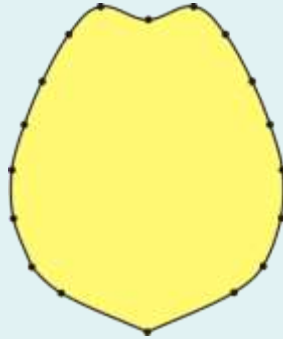
(a) расстановка меток;

(b) совмещение выборки чешуй из 11 ценопопуляций (N=328) со средней конфигурацией методом SBR (скользящей базовой линии);

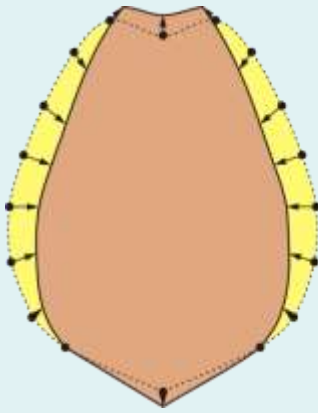
(c) для получения полного изображения чешуй выполнено дублирование и отражение координат меток от оси симметрии

Направления изменчивости формы семенных чешуй шишек лиственницы Каяндера

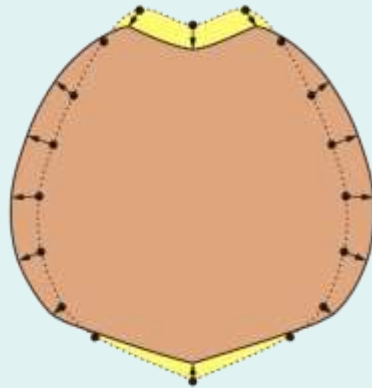
Средняя форма чешуй



PC1: 55,5%

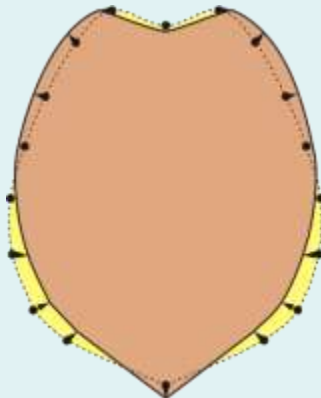


PC1=-0,12

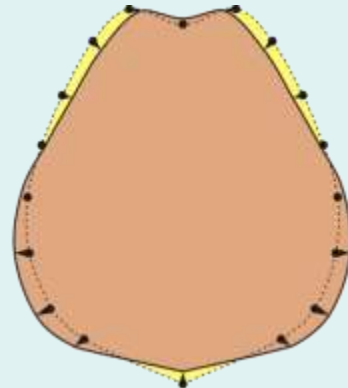


PC1=+0,12

PC2: 15,5%



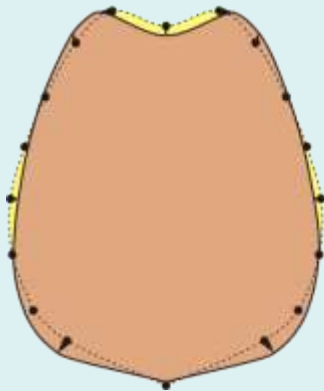
PC2=-0,08



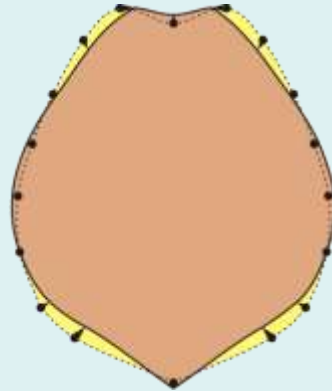
PC2=+0,08

Направления изменчивости формы семенных чешуй

PC3:13,4%

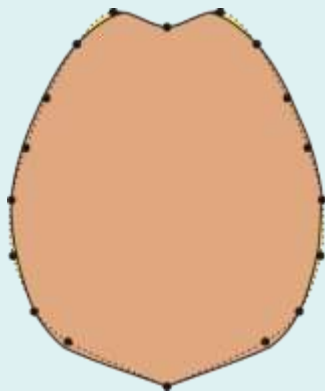


PC3= -0,06

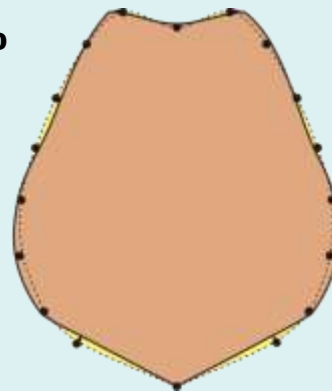


PC3= +0,06

PC4:5,1%

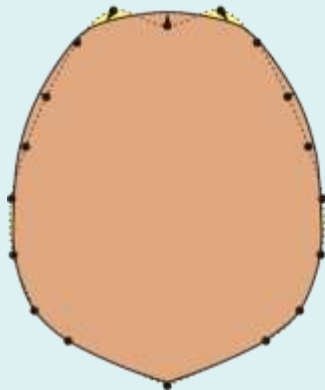


PC4= -0,04

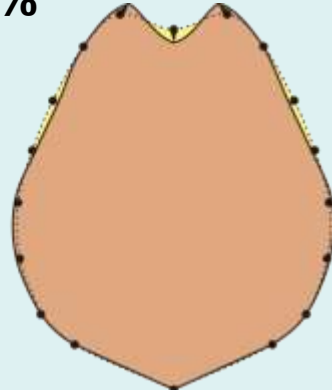


PC4= +0,04

PC5:3,4%

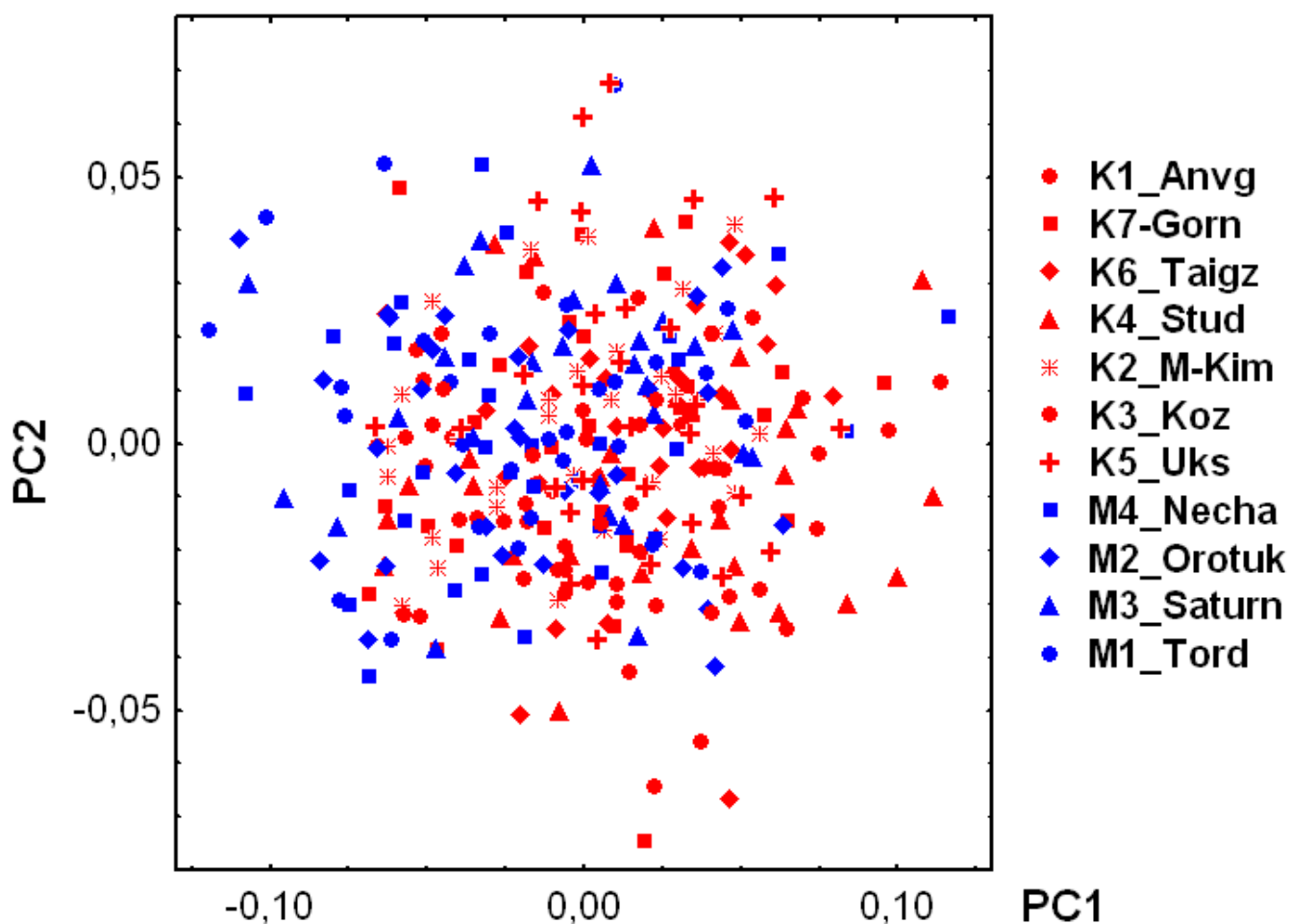


PC5= -0,04

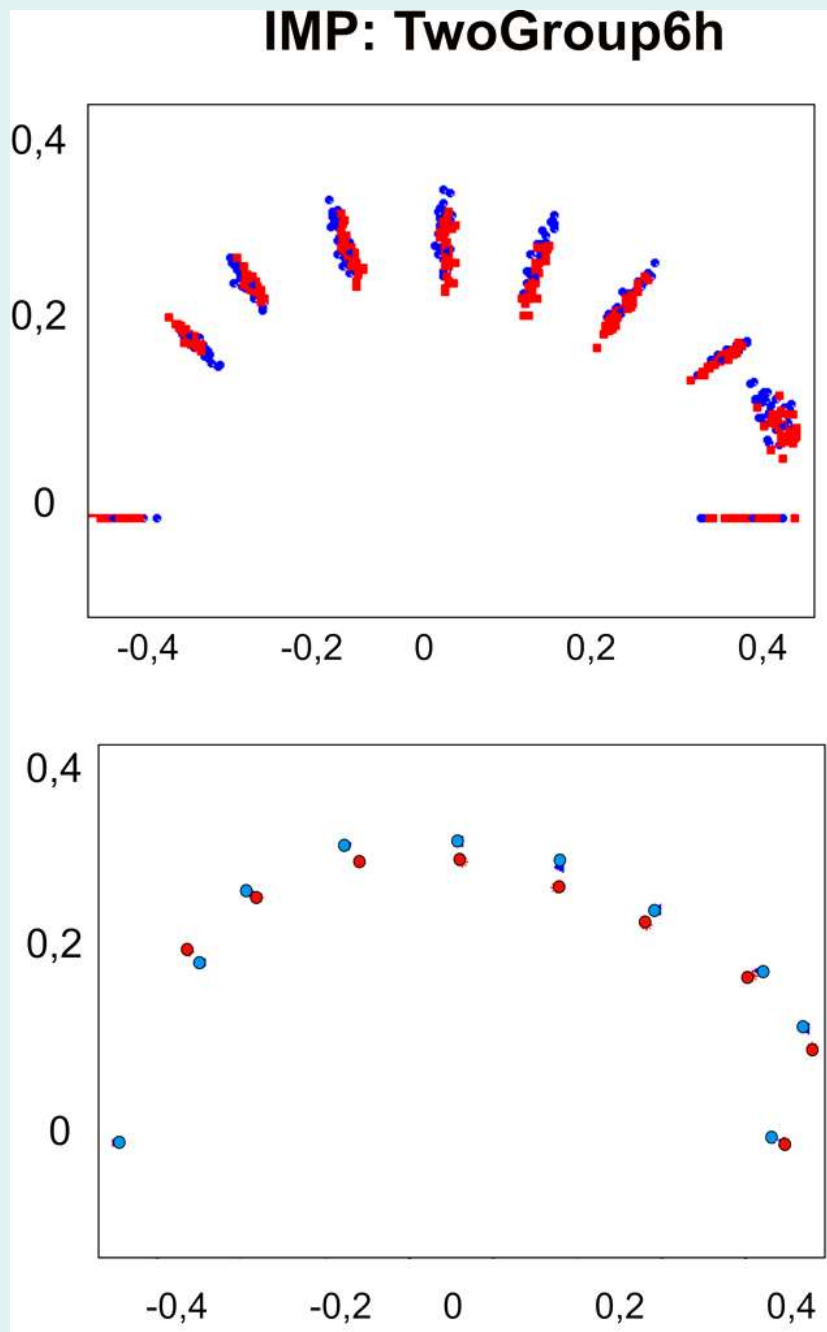


PC5= +0,04

Ординация популяций лиственницы Каяндера на плоскости двух первых главных компонент изменчивости формы семенных чешуй шишек



Определение фенотипических расстояний между популяциями



**Bootstrapped Distances between means ;SBR F-test 9,21; $p=0,01$;
Bootstraps 100; Distance between means 0,061**

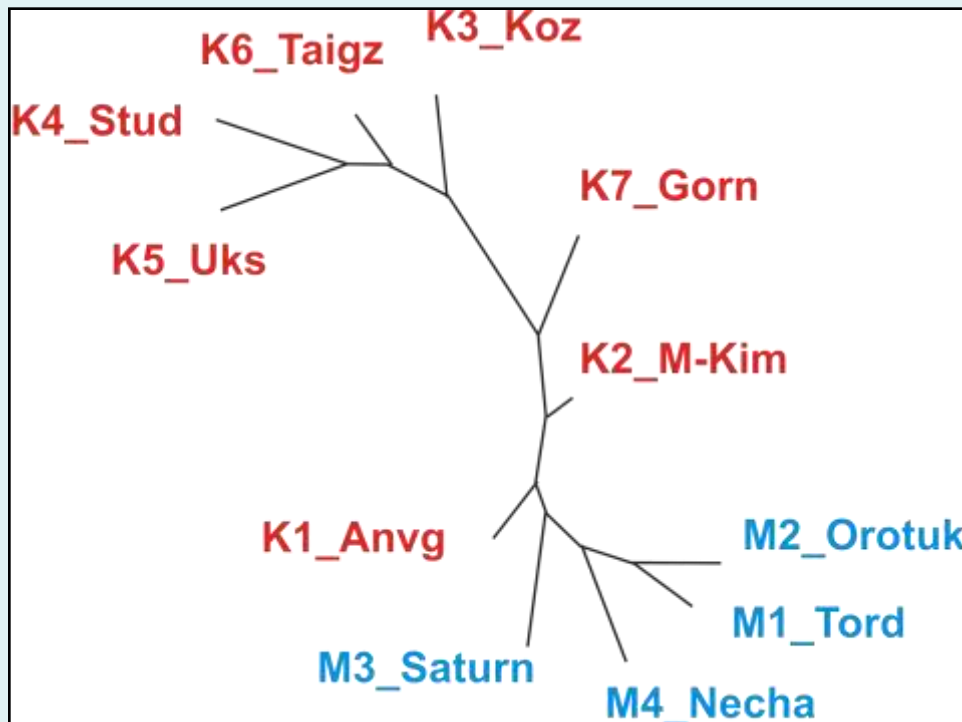
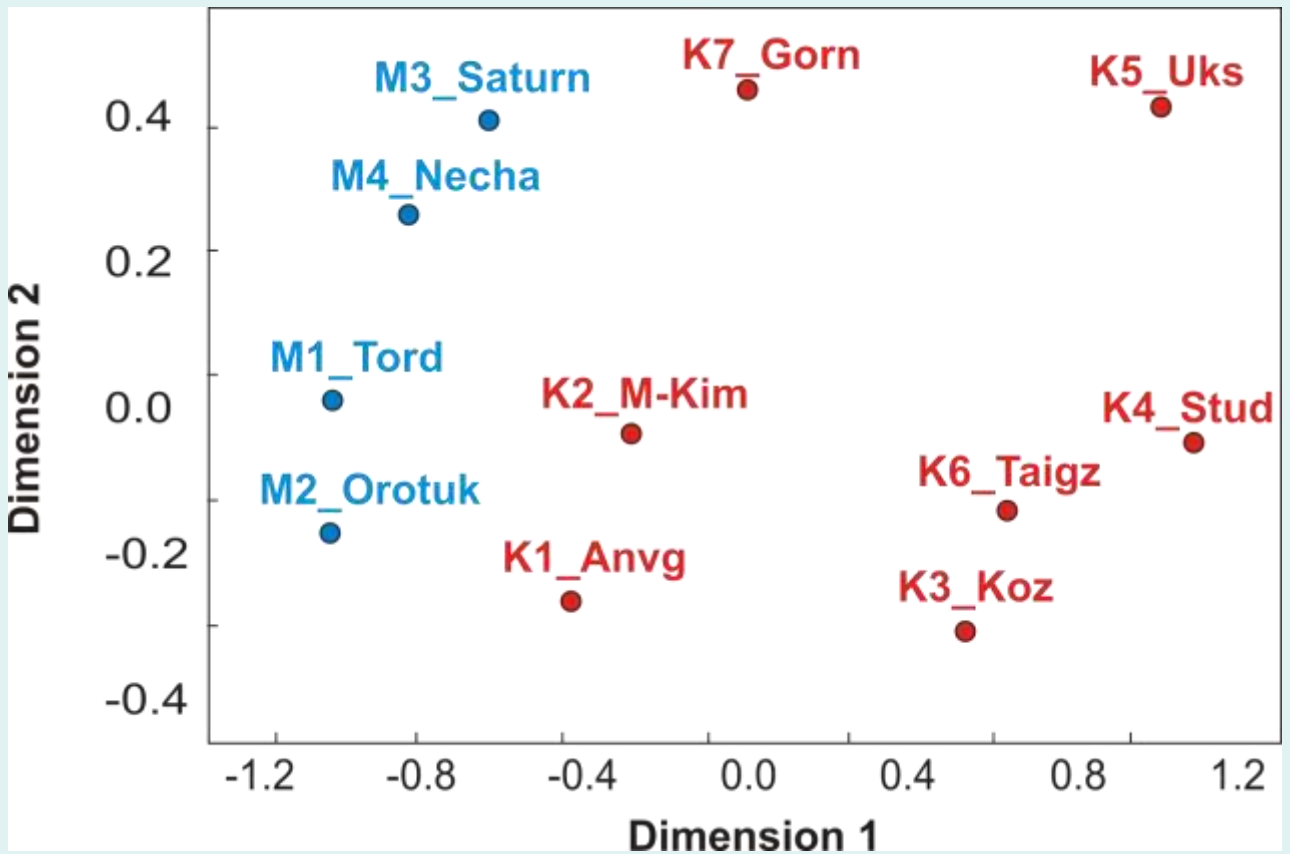
**Прокрустово расстояние - сумма квадратов
разности между координатами меток сравниваемых
объектов по всей совокупности меток.**

Фенотипические расстояния между географическими группами популяций лиственницы Каяндера и популяциями в пределах групп

| Вариант сравнения | Число популяций | Прокрустовы расстояния | | |
|-------------------|-----------------|------------------------|---------|-----------------|
| | | Minimum | Maximum | Mean± Std.Dev. |
| Камчатка-Магадан | 15 | 0,017 | 0,061 | 0,039± 0,014 |
| Камчатка | 11 | 0,012 | 0,048 | 0,029± 0,010 |
| Магадан | 4 | 0,013 | 0,026 | 0,020± 0,005 |

Корреляция между матрицами генетических и фенотипических расстояний составляет $R=+0,35$

Фенотипическая дифференциация выборок лиственницы Каяндера



Радиальная WM-дендрограмма сходства популяций

Заключение

Выявлен высокий уровень изменчивости и дифференциации популяций лиственницы Каяндера на севере Дальнего Востока

Значительные генетические различия между выборками лиственницы из Магаданской области и Камчатского края указывают на раннюю изоляцию лиственницы на полуострове Камчатка.

В магаданских популяциях наблюдается избыток гетерозигот. Во всех исследованных камчатских популяциях выявлен дефицит гетерозиготных генотипов, отражающий высокую степень инбридинга.

Оценка изменчивости и дифференциации популяций лиственницы по фенотипическим маркерам согласуется с результатами генетического анализа.



Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-04-00478-а).

Авторы выражают глубокую признательность Синельниковой Н.В. (ИБПС ДВО РАН),

Вяткиной М.П., Савенковой Ю.В. (Камчатский филиал ТИГ ДВО РАН) за помощь в сборе образцов.

Результаты будут опубликованы в статье:
Н.В. Орешкова, В.П. Ветрова, .В.Синельникова
Генетическая и фенотипическая изменчивость
лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) на
севере Российского Дальнего Востока //
Сибирский экологический журнал. 2015, №1