

Московская гимназия на Юго–Западе № 1543

Кафедра биологии

**Флуктуирующая асимметрия хвоинок сосны (*Pinus sylvestris* L.) в разных биотопах в Удомельском районе Тверской области**

Отчет о научно-исследовательской работе

Ипатова А. (9Б)

Савченко А. (9Б)

Турышева В. (9Б)

Научный руководитель:

Волкова П.А.

Москва, 2015 г.

## Введение

Живые организмы тесно связаны с окружающей их средой и в процессе жизнедеятельности испытывают её сильное воздействие. Это воздействие бывает для организма стрессовым, неблагоприятным, но при этом незаметным на глаз. Поэтому важная задача – выявить стрессовое воздействие на раннем этапе и остановить его, так как иначе оно даже может привести к гибели организма или к изменениям в экосистеме (Дружкина, 2007). Простой и удобный способ выявления неблагоприятного воздействия на организм – измерение флуктуирующей асимметрии. Флуктуирующая асимметрия (далее ФА) – случайные отклонения от абсолютной симметрии билатерально симметричных организмов (Kozlov, Niemela, 2003). В обычных условиях (без влияния стрессового воздействия) ФА минимальна. Под действием какого-либо внешнего раздражителя нарушается стабильность развития организма, и показателем этого нарушения в развитии становится изменение ФА: при неблагоприятном влиянии окружающей среды на живой организм ФА заметно увеличивается (Скрипальщикова, Стасова, 2014). Поэтому ФА – удачный биоиндикатор качества окружающей среды (Василевская, Тумарова, 2005). Измерение ФА – способ оценки уровня загрязнения среды, способ понять, благоприятна ли эта среда для данного организма. Этот метод широко применяется в разных странах в научных исследованиях. Ранее было показано, что сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – хороший объект для изучения ФА, так как она чувствительна к загрязнениям (Василевская, Тумарова, 2005). Максимальное воздействие внешних факторов испытывает лист (Василевская, Тумарова, 2005), потому мы работали с хвоинками сосны обыкновенной, которые расположены по две в пучке. Ранние исследования показали зависимость ФА сосны от антропогенного воздействия (Kozlov et al., 2002; Василевская, Тумарова, 2005). Гипотеза о том, что ФА у сосны зависит также от условий обитания в отсутствие заметного антропогенного стресса уже была проверена (Kozlov, Niemela, 2003). В этой статье показана зависимость ФА хвоинок северных популяций сосны обыкновенной от количества осадков в летнее время, но не от температуры. Насколько нам известно, исследование зависимости флуктуирующей асимметрии от типа биотопа в общем, а не от каких-либо отдельных абиотических факторов (например, температуры), ещё не проводили.

**Цель:** изучить зависимость ФА хвоинок *P. sylvestris* в разных биотопах в Удомельском районе Тверской области.

## Задачи

1. Собрать материал, вычислить ФА у сосен в разных биотопах.
2. Сравнить полученные значения и проверить наличие зависимости значений ФА от типа биотопа.

## Материалы и методы

Мы проводили исследование с 30 июня по 6 июля 2014 года в Удомельском районе Тверской области. Поскольку этот район относительно мало освоен, ландшафты там хорошо сохранены и не подвержены значительному антропогенному воздействию. Мы собирали материал для изучения ФА (пары хвоинок *Pinus sylvestris*) в пяти различных биотопах (рис.1): сфагновое болото в урочище Архипово (далее Архипово, координаты: сш 57.9299 град., вд 35.3054 град.); сосновый лес на северном берегу озера Подмошье (Подмошье, координаты: сш 57.96698 град., вд 35.3339 град.); поле, поросшее молодым сосняком (Поле, координаты: сш 57.3654 град., вд 35.1306 град.); перелесок, окруженный дорогой, полем и деревней (Перелесок, координаты: сш 57.71628 град., вд 35.2781 град.); спелый сосняк в урочище Боровушка (Боровушка, координаты: сш 57.68521 град., вд 35.33465 град.).

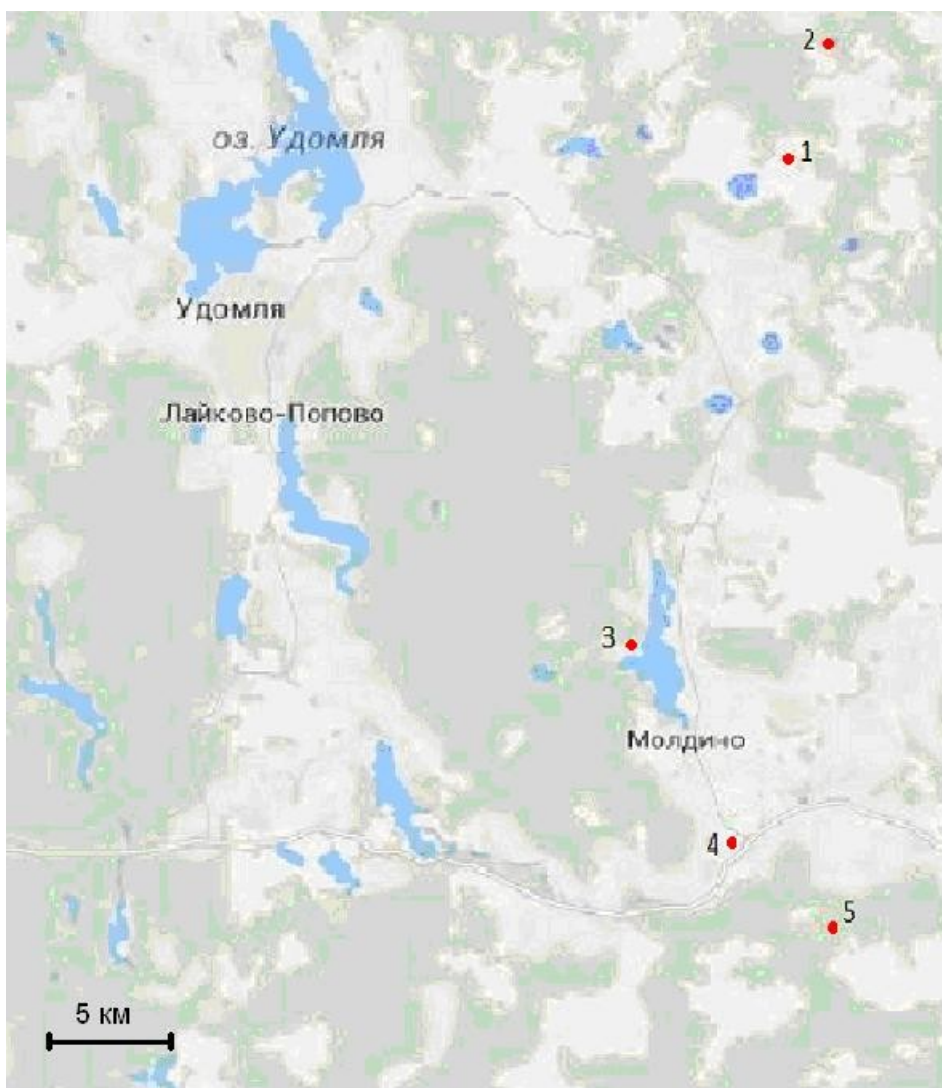


Рис.1. Расположение исследованных биотопов: 1 – Архипово, 2 – Подмошье, 3 – поле, 4 – перелесок, 5 – Боровушка.

На каждом участке мы протягивали верёвку в произвольном направлении, и с каждой второй сосны вдоль этой линии собирали по десять пар хвоинок. Всего брали хвоинки с десяти сосен, то есть по сто пар с одного биотопа. Ранее (Kozlov, Niemela, 1999) было показано, что индекс ФА не зависит от возраста дерева, позиции ветви на дереве и от его положения в зарослях, но возрастает с увеличением порядка ветвления и возраста хвои. В связи с этим мы собирали хвоинки только с ветвей второго порядка (отходящих от ствола) и второго года. Мы измеряли хвоинки согласно ранее опубликованной методике (Kozlov, Niemela, 1999) и рассчитывали индекс ФА по формуле  $FA = 2 * |WL - WR| / (WL + WR)$ , где: WL — длина одной хвоинки в паре, WR — длина другой хвоинки в паре (Скрипальщикова, Стасова, 2014), которую мы преобразовали как:  $0.01 * D / (2 * L - 0.005 * D)$ , где D — разница длин хвоинок в паре, L — длина наибольшей хвоинки в паре (см). Сначала мы приклеивали скотчем каждую пару хвоинок на лист плотной бумаги так, чтобы две хвоинки были прижаты друг к другу плоскими сторонами и выглядели как одна ровная прямая. Мы не закрывали скотчем концы хвоинок для большей точности измерений разности их длин. Для каждой пары мы вычисляли длину наибольшей хвоинки в паре с помощью штанген-циркуля с точностью до сотых миллиметра, и разницу длин хвоинок в паре, используя бинокляр МБС-10 с мерной линейкой окуляр-микрометра на семикратном увеличении. Каждую величину измеряли два независимых наблюдателя, чтобы исключить случайные ошибки измерения. Перед анализом ФА мы усреднили значения, полученные этими двумя наблюдателями.

## Результаты

Всю статистическую обработку и построение графиков проводили в программе R (R Core Team, 2013) .

Мы построили гистограмму для значений ФА, чтобы найти выбросы (рис. 2).

Мы взяли значения меньше 0.08, чтобы выбросы не помешали правильно проанализировать наши данные (рис. 3). Нужно отметить, что выбросы не были следствием ошибки одного из измеряющих, а представляли собой аномально высокие значения ФА, вызванные неясными причинами и выявленные обоими измеряющими.

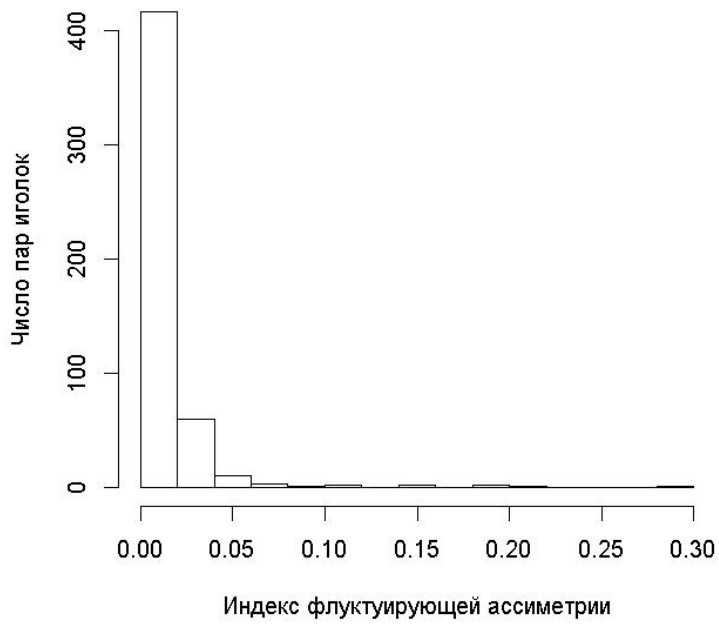


Рисунок 2. Исходное распределение значений ФА

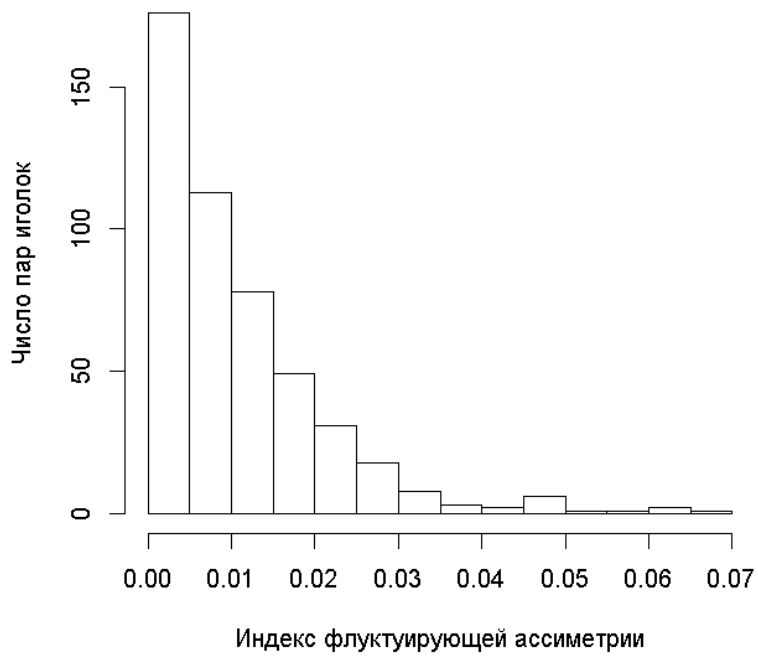


Рисунок 3. Распределение значений ФА без выбросов

По нашим данным (рис. 4, табл. 1), значения ФА в урочище Архипово статистически значимо превышают значения ФА в остальных биотопах; значения ФА в прочих парах биотопов статистически значимо не различаются (тест Краскел-Уоллиса,  $p = 0.0000000011$ ; попарный тест Вилкоксона с поправкой Бонферрони).

Данные двух измеряющих достоверно различаются (тест Вилкоксона для зависимых переменных,  $p=0.0006281$ ).

	Урочище Архипово	Озеро Подмошье	Заросшее поле	Перелесок
Озеро Подмошье	0.0035	---	---	---
Заросшее поле	0.000012	1	---	---
Перелесок	0.00000094	1	1	---
Урочище Боровушка	0.000000011	0.058	1.00	1

Таблица 1. Результаты теста Вилкоксона с поправкой Бонферрони (значения статистической ошибки первого рода)

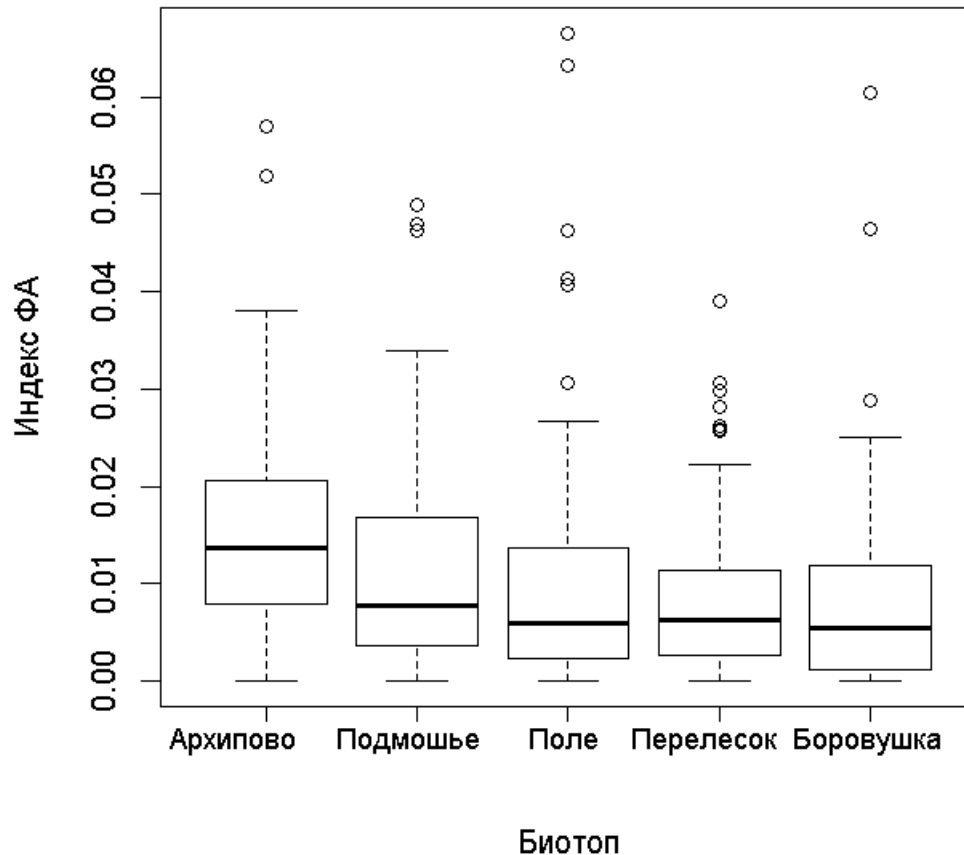


Рисунок 4. Значения ФА для каждого биотопа

Биотоп	Среднее значение флуктуирующей асимметрии	Стандартное отклонение флуктуирующей асимметрии
Архипово	0.0153	0.0103
Подмошье	0.0111	0.0167
Поле	0.0102	0.0349
Перелесок	0.0087	0.0358
Боровушка	0.0081	0.0100

Таблица 2. Среднее значение и стандартное отклонение ФА в пяти биотопах

## Обсуждение

Мы обнаружили, что значения ФА хвоинок сосны на сфагновом болоте в урочище Архипово заметно превышают аналогичные значения в других типах биотопов.

Сосна – вид с широкой экологической нишей и может обитать в биотопах с самыми различными условиями. Однако у нее есть свои предпочтения – оптимальные для развития условия. Сосна лучше растёт на лёгких почвах – песчаных, супесчаных. Корни сосны требовательны к температуре почвы: сосна растёт при температуре не меньше + 10. Избыток влаги ведёт к замедлению роста сосны. Длительное отсутствие кислорода в почве приводит к гибели части корневых систем сосны (Побединский, 1979). Следует ожидать, что в оптимальных условиях стабильность развития сосны будет выше, а индекс ФА – меньше. Этим и можно объяснить, почему ФА в Архипово статистически значительно превышает ФА в других биотопах: почва с избытком влаги, кислорода немного (так как его вытесняет вода). Поэтому это очень неблагоприятное местообитание для сосны обыкновенной.

Чтобы получить представление о масштабе выявленных нами различий значений ФА в разных биотопах, мы рассмотрели их в контексте описанной ранее изменчивости значений ФА хвоинок сосны обыкновенной (Kozlov, Niemela, 1999; Kozlov et al., 2002; Kozlov, Niemela, 2003; Василевская, Тумарова, 2005).

В результате стало ясно, что степень неблагоприятности условий на сфагновом болоте превышает отрицательный эффект от засухи (Kozlov, Niemela, 2003; рис. 5).

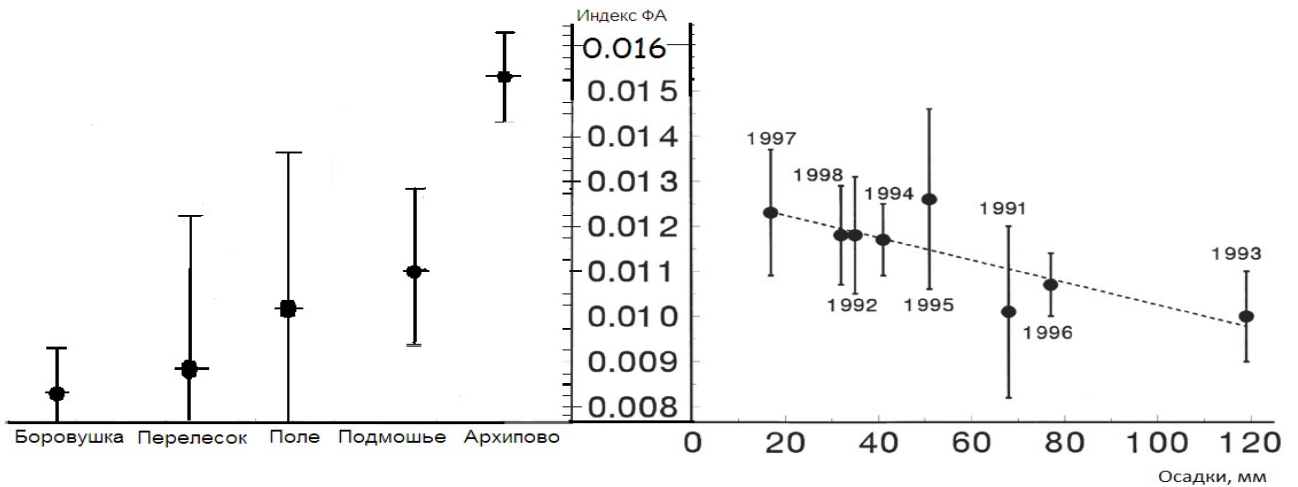


Рис. 5. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА в одной популяции в годы с разным количеством осадков (справа; по Kozlov, Niemela, 2003). Приведены средние значения и стандартная ошибка.

Если рассмотреть влияние антропогенных факторов, то увеличение ФА, которое мы наблюдали на Архипово по сравнению с остальными биотопами, сопоставимо с эффектом от увеличения концентрации никеля во мхах приблизительно на 60%, концентрации серы в почве – на 80% и кислотности почвы – на 50% (Kozlov et al., 2002; рис. 6.1-6.3).

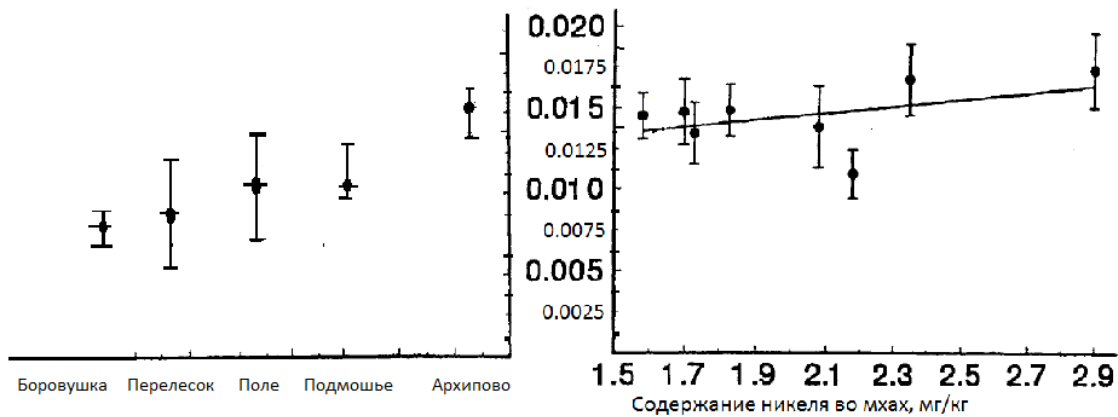


Рис. 6.1. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА сосен в одной популяции в зависимости от содержания никеля во мхах (справа; по Kozlov et al., 2002). Приведены средние значения и стандартная ошибка.



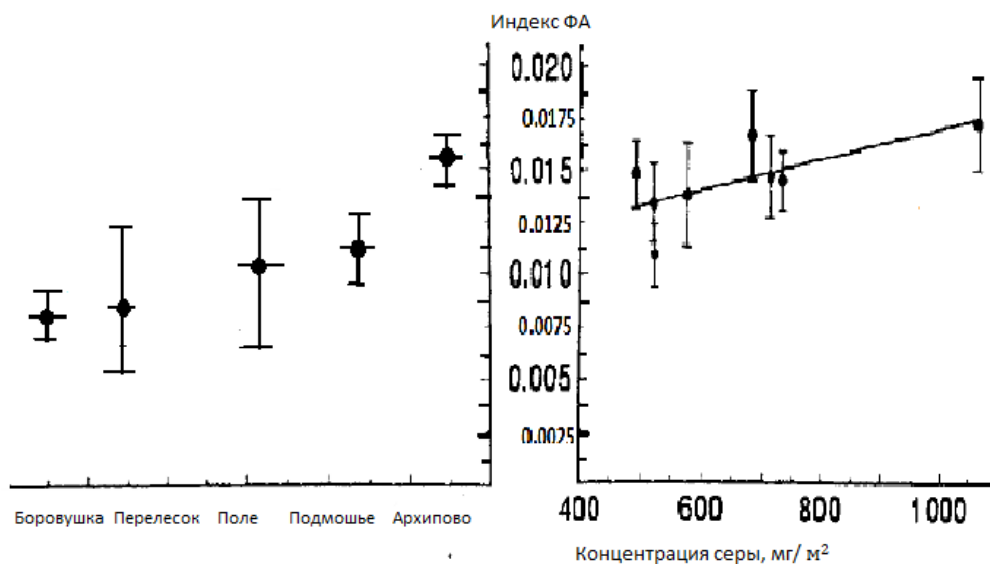


Рис. 6. 2. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА сосен в одной популяции в зависимости от концентрации серы в почве (справа; по Kozlov et al., 2002). Приведены средние значения и стандартная ошибка.

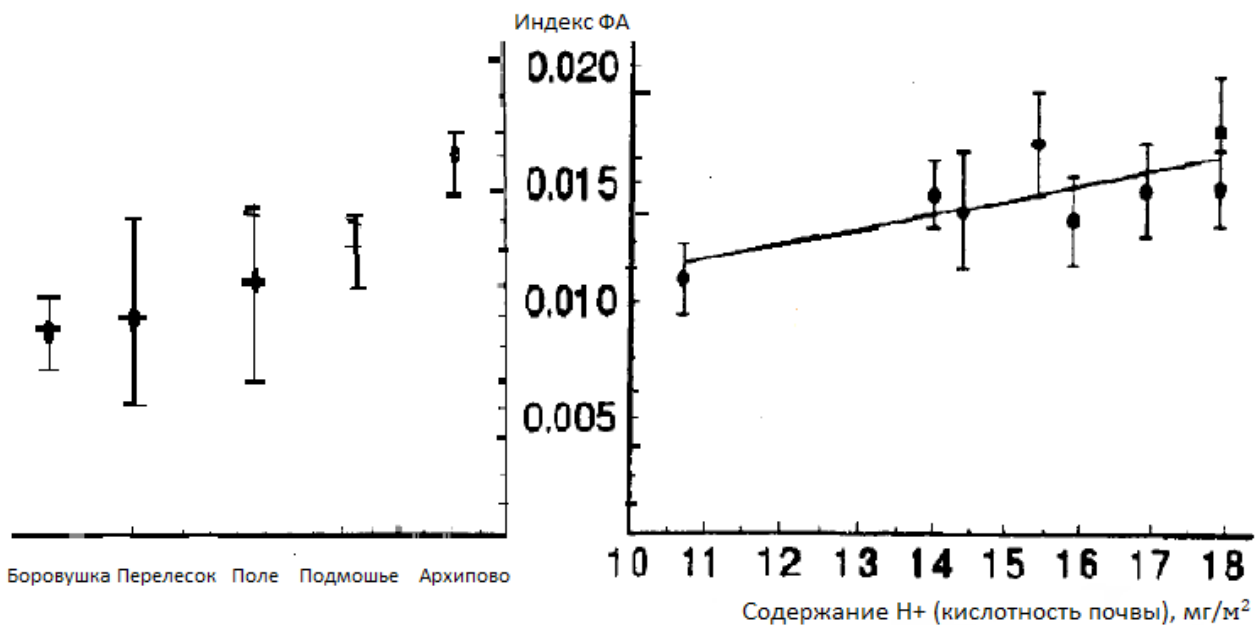


Рис. 6.3. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА сосен в одной популяции в зависимости от кислотности почвы (справа; по Kozlov et al., 2002). Приведены средние значения и стандартная ошибка.

Обнаруженные нами различия также превышают эффект от сокращения расстояния между популяцией сосны и промышленным городом Мончегорском с 60 до 5 км (рис. 7;

Kozlov, Niemela, 1999). Судя по нашим данным, для сосны обитание на сфагновом болоте – почти такой же сильный стресс, как произрастание в непосредственной близости от этого города, где находится комбинат «Североникель», выделяющий тяжёлые металлы (никель, медь) и сульфаты (рис. 10; Василевская, Тумарова, 2005). Обнаруженный нами отрицательный «эффект сфагнового болота» сопоставим со стрессом от нахождения сосны вблизи г. Ковдор, одного из самых запылённых городов, где содержание пыли в воздухе может превышать норму в 10-17 раз (рис. 10; Василевская, Тумарова, 2005). Поселки Ена и Алакуртти расположены на большом расстоянии от Мончегорска (80 и 200 км), и не сильно влияют на значения ФА (Василевская, Тумарова, 2005). Можно сказать, что увеличение ФА, которое мы наблюдали на Архипово по сравнению с другими биотопами Удомельского района Тверской области, сопоставимо с увеличением ФА при сильном антропогенном загрязнении.

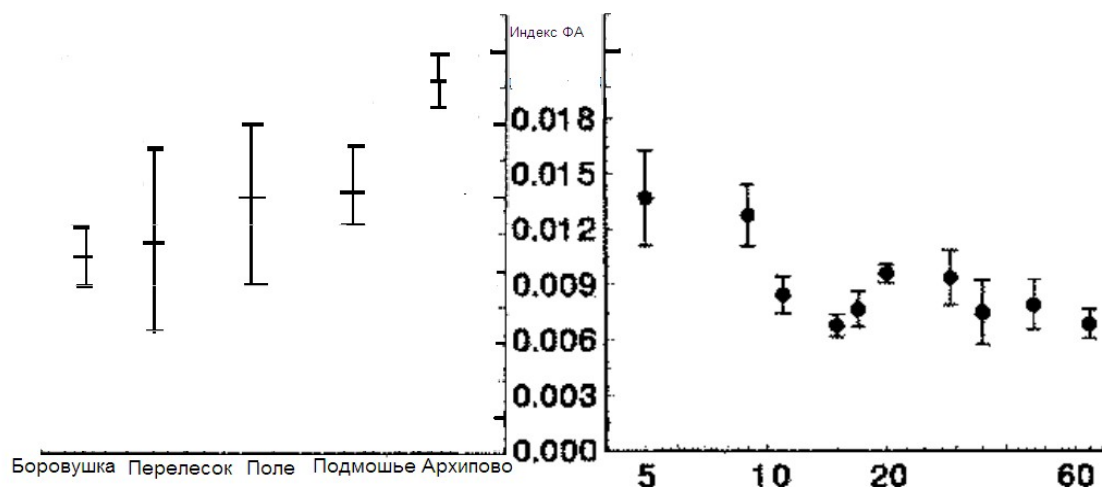


Рис. 7. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА сосен в одной популяции в зависимости от расстояния до Мончегорска (справа; по Kozlov, Niemela, 1999). Приведены средние значения и стандартная ошибка.

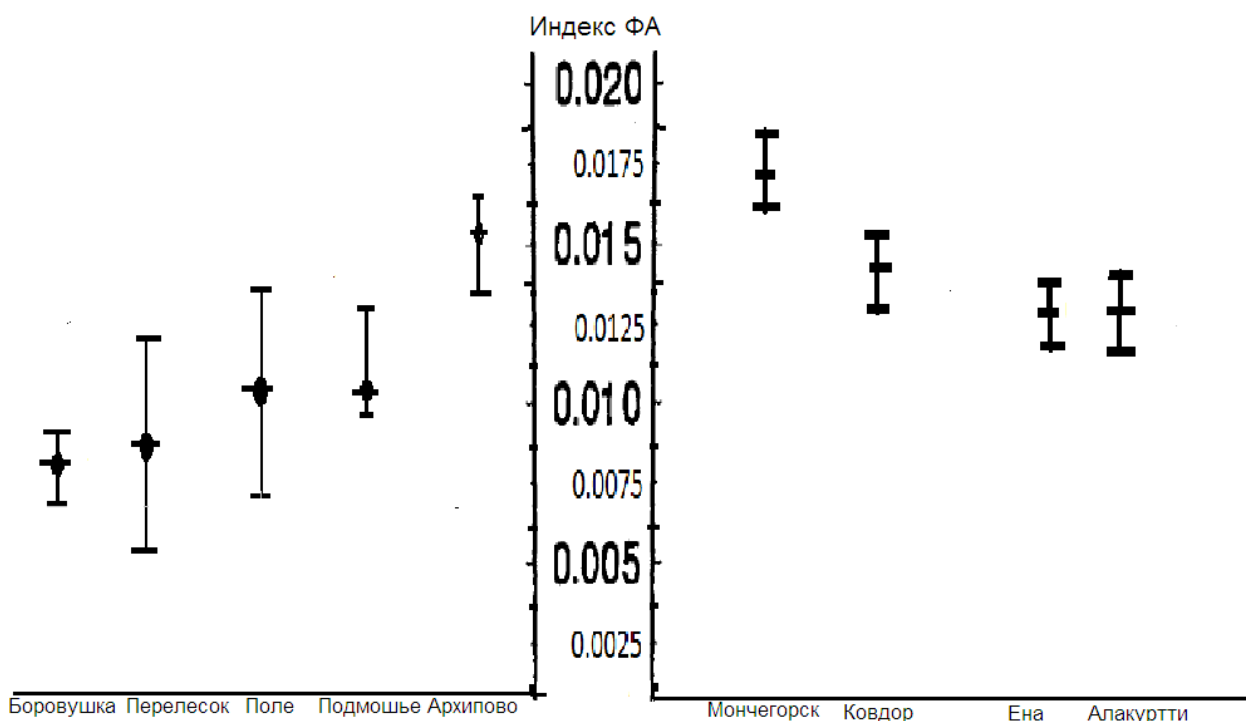


Рис. 8. Сравнение вычисленных нами значений ФА в разных биотопах (слева) со значениями ФА сосен под действием аэротехногенного загрязнения (справа; по Василевская, Тумарова, 2005). Приведены средние значения и стандартная ошибка.

Таким образом, наши результаты свидетельствуют, что ФА применима для оценки оптимальности естественных местообитаний. При этом интересно отметить относительное постоянство значений ФА на большом диапазоне географических широт (от Тверской до Мурманской областей). Мы показали, что тип биотопа влияет на стабильность развития сосны обыкновенной не менее существенно, чем серьезное антропогенное загрязнение или значительные колебания климатических условий (на примере количества осадков). Поэтому при изучении антропогенного воздействия на живые организмы посредством анализа ФА нужно учитывать и тип биотопа, иначе интерпретация полученных данных будет существенно затруднена.

### Благодарности

Мы благодарим нашего научного руководителя Полину Андреевну Волкову за большую помощь при выполнении работы; Михаила Васильевича Козлова за конструктивные предложения и замечания при обсуждении результатов исследований; Сергея Менделевича Глаголева, Надежду Сергеевну Глаголеву и Екатерину Викторовну Елисееву за организацию практики и Петра Николаевича Петрова за помощь в нахождении урочища Архипово.

## Литература

Василевская Н.В., Тумарова Ю.М.. Оценка стабильности развития популяций *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения (Мурманская область) // Биогеография Карелии, труды Карельского научного центра РАН. 2005. Выпуск 7. С. 21–25.

Дружкина Т.А. Скрининговая оценка экологического состояния городской среды по древесным культурам // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань. 2007. 23 с.

Побединский А.В. Сосна. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 125 с.

Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах // Сибирский лесной журнал. 2014. №2. С.62–72.

Kozlov M. V., Niemela P.. Difference in needle length – a new and objective indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Water, Air, and Soil Pollution. 1999. №116. С. 365–370.

Kozlov M.V., Niemela P. Drought is more stressful for northern populations of Scots pine than low summer temperatures // Silva Fennica. 2003. 37(2). С.175–180.

Kozlov M. V., Niemela P., Junttila J. Needle fluctuating asymmetry is a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Ecological Indicators. 2002. №1. С. 271–277.