

Заметки по оптимальной стратегии отбора проб в

дендроклиматология

Текущее название: Стратегия отбора проб

Александр В. Кирдянова, б.в*, Альма Пьерматтея, Томаш Коларжде, Михал Рыбничекдэ, Пол Дж.

Крушица, а.ф.г, Анатолий Николаевич Николаев, и, Фредерик Рейниг и Ульф Бюнтгена, d,j,k

^а Географический факультет Кембриджского университета, CB2 3EN, Великобритания

^б Институт лесов им. В.Н. Сукачева СО РАН, 660036 Красноярск, Россия

^с Институт экологии и географии Сибирского федерального университета, 660041 Красноярск, Россия

^г Институт исследований глобальных изменений CAS, 602 00 Брно, Чешская Республика

^е Факультет лесного хозяйства и технологий древесины, Университет Менделя в Брно, Земедельская 3/613 00

Брно, Чехия

^ф Кафедра физической географии, Стокгольмский университет, SE-106 91 Стокгольм, Швеция

^г Наваринская экологическая обсерватория, GR-24001 Мессиния, Греция

^{***} Северо-Восточный федеральный университет, ул. Белинского, 58, 677000 Якутск, Россия

^и Институт вечной мерзлоты им. Мельникова, Россия, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36

^{***} Швейцарский федеральный научно-исследовательский институт WSL, CH-8903 Бирмендорф, Швейцария

^к Кафедра географии Масариковского университета, Котларжска 2, 61137, Чехия

* Ответственный автор: kiralyanov@ksc.krasn.ru (Александр Кирдянов)

26 АННОТАЦИЯ

27 Хотя извлечение приростных кернов является обычной практикой при исследовании годовичных колец деревьев,

28 стандарт для количества образцов на дерево или деревья на участке, необходимых для точного описания

29 общих закономерностей роста дискретной популяции деревьев в пространстве и времени.

30 Хронологий, составленных из живых, субископаемых и археологических материалов, часто сочетают в себе неравномерность

31 распределение приростных кернов и образцов дисков. Эффекты взятия одного или двух кернов на дерево,

32 или даже включение измеренных радиусов из целых дисков, на хронологическом развитии и

33 качество остается неотчетным. Здесь мы представляем четыре новых лисовенницы (Larix cajanderi Mayr) ширина колец а

34 хронологии из тех же 20 деревьев в северо-восточной Сибири, которые были независимо

35 разработаны с использованием различных комбинаций образцов керна и диска. Наш эксперимент показывает: i)

36 распиловка намного быстрее, чем сверление сердцевины, при этом последнее не всегда достигает сердцевины; ii) дисковая пила

37 хронология содержит меньше отсутствующих колец, простирается дальше назад во времени и демонстрирует больший рост

38 согласованность; iii) хотя дизайн выборки мало влияет на общую хронологию

39 поведение, информация о более низких частотах более надежно получается из измерений диска

40, которые также имеют тенденцию отражать немного более сильный температурный сигнал. При количественной оценке влияния

41 стратегия отбора проб по качеству хронологий ширины годовичных колец деревьев и их пригодности для климата

42 реконструкции, это исследование дает полезную информацию для оптимизации кампаний полевых работ, а также

43 как разработка составных хронологий из разных источников древесины.

44

45

46

47

48

49

50 Ключевые слова: Дизайн выборки; дисковые образцы; приростные керны; климатический сигнал; северо-восточная Сибирь;

51 недосаженные кольца

52 1. Введение

53 Несмотря на почти столетнюю традицию нашей дисциплины (Дуглас, 1928) и большое
54 промежуточных достижения (Шульман, 1937; Фриттс, 1976; Швайнруб, 1996), общий
55 стратегий отбора проб для дендрохронологии не существует. Хотя это частично связано с
56 осуществление различных школ (в основном в Европе и США) и с дисциплин (включая
57 археология, биология, климатология, экология и лесное хозяйство), полевые работы идеально адаптированы для выполнения
58 требований, специфичных для проекта: от простого датирования артефактов и сооружений до более сложных
59 комплексная реконструкция климата и оценка биомассы. Кроме того, каждый дизайн выборки
60 представляет собой компромисс между принципом «больше всегда лучше» и «практичностью», связанной с
61 логистикой, разрешения и ресурсы, выделенные на конкретный проект. Игнорирование некоторых правил
62 большой палец, все еще существуют разногласия относительно плюсов и минусов извлечения одного или нескольких деревьев
63 дерева или даже с образцов дисков, не говоря уже о количестве деревьев, необходимых для разработки надежного
64 хронология. Более того, поскольку годичные кольца деревьев стали оказывать все большее влияние на климат
65 дебатов об изменениях, суждения, опыт и навыки отдельных исследователей часто имеют решающее значение
66 опрошенных были лицами, не относящимися к данной дисциплине (Mann et al., 2012).

67 Здесь мы решаем эти проблемы, независимо разрабатывая четыре хронологии ширины кольца
68 из тех же 20-летних, растущих в северо-восточной Сибири. Каждый шаг, от полевых работ, через
69 подготовку образцов и хронология развития, для оценки общего роста
70 изменчивости и чувствительности климата, был проанализирован с учетом полученного значения и
71 потраченное усилие.

72

73 2. Материалы и методы

74 Участок исследования расположен в экотоне лесотундры на северо-востоке Сибири на $70^{\circ}01' \text{ с. ш.}$,
75 $147^{\circ}35' \text{ в. д.}$ и 18 м над уровнем моря (рис. 1а). Среднегодовая температура составляет $-13,7^{\circ} \text{ C}$, с самыми холодными и
76 самыми теплыми месяцами с температурой от $-34,2^{\circ} \text{ C}$ в январе до $9,7^{\circ} \text{ C}$ в июле. Годовое количество осадков составляет
77 204 мм, из которых 40% выпадает в период с июня по август (по данным метеостанции

78 чтений за 1945-2016 гг. в Чукотке; Якутия). Листовенница Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr)

79 основных лесных пород в этом регионе вечной мерзлоты (Абаимов, 2010), где исключительно низкая

80 радиальный рост в основном контролируется летними температурами (Briffa et al., 1998; Esper et

81 др., 2010; Хеллманн и др., 2016; Хьюз и др., 1999; Ваганов и др., 1996).

82 Отбор проб из нетронутого, разновозрастного насаждения листовенницы Каяндера на первой террасе

83 Реки Индигирки была проведена в конце июля 2016 г. (рис. 1а). Два 5-мм керны (А и В)

84 были взяты перпендикулярно друг другу, на высоте примерно 1,0-1,3 м, из 20 здоровых

85 доминирующих деревьев, до того как деревья были вырублены для сбора дисков с тех же позиций ствола.

86 образцов керны А1-20 и В1-20, а также образцы дисков D1-20 были независимо друг от друга

87 обработаны опытными дендрохронологами в трех лабораториях в Брно, Кембридже и

88 Красноярске (Чехия, Великобритания и Россия).

89 В Кембридже все сердечники были смонтированы и отполированы наждачной бумагой с постепенно увеличивающейся зернистостью.

90 зернистости уменьшилась до 800, и сердечники А, без преимуществ сердечников В, были затем

91 измерены на системе измерения годовых колец Velmex с разрешением 0,001 мм (Velmex

92 Inc., Блумфилд, Нью-Йорк, США). Затем повторно отшлифованные сердечники А и недатированные сердечники В были отправлены в

93 Брно, где основная коллекция кернов, А и В были независимо измерены на

94 Устройстве расписания с разрешением 0,01 мм (VIAS/SCIEM, Вена/Брунн-ам-Гейбирге,

95 Австрия). В отличие от Кембриджа оператор Брно имел преимущество в виде наличия двух ядер из

96 одного и того же дерева, чтобы помочь датировать все сердечники. Образцы дисков были исключительно обработаны и

97 измерены в Красноярске на измерительной системе LINTAB (RINNTECH eK, Гейдельберг,

98 Германия). В Красноярске оператору разрешили выбрать два «идеальных» радиуса для

99 измерений, без каких-либо признаков нарушения, реакция древесины и зоны

100 исключительно подавленный рост. Перекрестное датирование проводилось во всех трех лабораториях

101 независимо друг от друга с использованием TSAP-win (Ринн, 2003), PAST4 (Книббе, 2004) и проверено с помощью

102 КОФЕЧА (Версия 6.02Г; <http://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring->

103 лаборатория /ресурсы/программное обеспечение) программное обеспечение.

104 Для получения

105 x ронология из всех я дер A (Core-A), две на дерево комбинации A и B (Core-AB),

106 еще одна x ронология отдельных серий только из я дер B (Core-B) и всех измерений Диска

107 (Диск) с использованием ARSTAN (Версия 44h3; <http://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring->

108 [лаборатория /ресурсы/программное обеспечение](#)). Скользящее окно, межсерийные коэффициенты корреляции (R_{bar}) и

109 Экспресс-ируемый популяционный сигнал (EPS; Wigley et al., 1984) используются для характеристики каждого из

110 четырех x ронологических показателей в межодовых и многовековых временных масштабах. Для оценки

111 чувствительности климата четырех x ронологий между 1950 и 2015 годами, среднемесячные температуры

112 были извлечены из ближайшей точки сетки выског разрешения CRU TS4.01 (Харрис и др., 2014).

113

114 3. Результаты

115 Всего было получено 40 непрерывных дорожек измерения ширины колец от сердцевины до коры.

116 образцов дисков D1-20 (таблица 1; рис. 16). Однако сердечник A из дерева N107 не мог быть

117 измерен либо в Кембридже, либо в Брно, из-за большого количества чрезмерно узких ростов

118 колец и обилие отсутствующих колец на протяжении большей части ядра. X ронология Core-A

119 510 лет и охватывает период 1506-2015, тогда как x ронология Core-B немного

120 короче (1521-2015). X ронология Диска охватывает 518 лет между 1499 и 2016 годами (таблица 1). Она

121 следует отметить, что во внешних частях всех образцов x ронологии, освоенные на деревьях, страдают от

122 снижающейся репликация образцов ак на то же время из-за значительной степени подавленного роста.

123 Более того, первые 30 лет x ронологии Core-A представлены одной серией (рис. 16).

124 средняя длина сегмента (MSL) 40-дисковой серии измерений составляет 396 лет, тогда как

125 MSL из 19 образцов x ронологий Core-A и 20 образцов Core-B короче на 52 и 29 лет,

126 соответственно.

127 Средняя чувствительность всех четырех x ронологий статистически схожа и колеблется в пределах

128 0,334 и 0,343, и демонстрируя высокий уровень межодовой изменчивости (таблица 1). Хотя все

129 четыре x ронологии показывают достаточную степень внутренней согласованности роста (таблица 1), R_{bar}

130 значения EPS 0,377 и 0,908 существенно ниже для хронологии Core-A по сравнению

131 с 0,427 и 0,960 хронологии Диска (рис. 1в, г).

132 Средние годовые темпы прироста всех 20 деревьев чрезвычайно низки и колеблются от 0,17 до

133 0,18 мм, в зависимости от набора данных (рис. 2а). Годовые и более долгосрочные колебания

134 обеих хронологий, как сырые, так и стандартизированные, особенно похожи, когда размер выборки превышает

135 четырех серий в 1589 году (рис. 2а, б), что также подтверждается высоким коэффициентом межсерийным

136 корреляции между стандартными хронологиями, рассчитанными за 30-летние периоды (рис. 2б)

137 вставка).

138 Из общего числа датированных и измеренных колец набор данных Core-B содержит 0,92%

139 самую высокую долю отсутствующих колец (63 из 6877), занимающую Core-A и Core-AB

140 с бором 0,90% (63 из 6975) и 0,85% (115 из 13593) соответственно (рис. 2с). Самый низкий

141 число отсутствующих колец найдено в наборе данных Disk (0,51%, 81 из 15845). Отсутствующие кольца были

142 идентифицированы в 33 из 39 серий измерений керна и только в 18 из 40 радиусов диска. До 80%

143 ядра Core-A отсутствуют, кольцо сформированное в 1680 году, 67% ядра Core-B отсутствуют

144 1580, 43% объединенных ядра AB отсутствуют 1580, и только 25% датированных радиусов из

145 Коллекция Диска не имеет кольца, образованного в 1801 году (рис. 2с). Максимальное количество

146 обнаруженных недостающих колец в одном керне составляют 11 из 427 (2,6% в керне В дерева N113).

147 Общее количество лет с отсутствующими кольцами в каждом наборе данных колеблется от 25 до 32.

148 Анализ реакции роста на климат выявляет статистически значимую положительную корреляцию

149 коэффициентов ($r > 0,6$) между средними температурами июня и всеми четырьмя хронологиями (рис. 3).

150 Соотношения с остальными другими ежегодными средними значениями, включая предыдущие осенние и зимние условия,

151 незначительны. Коэффициенты корреляции трансформированных полей хронологии Диска указывают на высокую

152 градуса связи с изменчивостью температуры в июне в диапазоне от 130 до 160° в.д. и от 75 до 65° с.ш.

153

154

155

156 4. Обсуждение и выводы

157 Ввиду ограниченного региона и видов, к которым применимы эти результаты, мы принимаем наши выводы

158 не может быть произвольно экстраполировано на все среды обитания. В то же время, это исследование подчеркивает

159 Огромная ценность имеет наличие как высококачественных, так и большого количества индивидуальных измерений отдельных колец деревьев.

160 Хотя мы хорошо знаем, что вырубка деревьев не всегда возможна и никогда не желательна, для

161 относительно небольшое дерево в северо-восточной Сибири это намного быстрее, чем извлечение кернов, и время - это

162 критических ограничения для полевых работ в отдаленных регионах, где логистика не только сложна, но и

163 также чрезвычайно дороги. Еще одно преимущество дисков - это определенное наличие сердцевины, которая

164 не всегда получается при керновании. Хотя некоторые из деревьев в нашем исследовании были более 500

165 лет, диаметр ствола был менее 18 см, что, безусловно, облегчало приближение или

166 даже попадая в сердцевину. Однако первые десятилетия хронологий, основанных на древних, менее хорошо

167 реплицировано, чем хронология на основе дисков, что приводит к общему улучшению сигнала

168 с использованием дисков. Избегание необходимости оценки содержания сердцевины еще больше улучшает

169 применение композитных методов детрендинга (Эспер и др., 2003). Другое преимущество дисков

170 по сравнению с образцами керна - это возможность измерить радиальные пути, которые обходят компрессию

171 древесины и другие анатомические особенности, которые могли бы усложнить перекрестное датирование и запутать

172 обнаружение оптимального, климатически обусловленного общего поведения роста. Извлечение двух

173 вместо одного дерева представляет собой справедливый компромисс для сохранения качества хронологии,

174, однако, требует больше труда, как в полевых условиях (бурение вместо рубки), так и в лабораторных условиях

175 (обнаружение отсутствующих колец). Фактически, по крайней мере 77,5% всех измеренных деревьев демонстрируют отсутствующие

176 кольца, тогда как менее половины измеренных радиусов дисков содержат отсутствующие кольца. В дополнение к

177 более высокая тенденция к отсутствию сердцевины и большого количества отсутствующих колец, самая внешняя часть некоторых сердцевин

178 образцов не удалось измерить из-за подавленного роста. По сравнению с записями, полученными на основе керна,

179 хронология на основе дисков дает почти на 25% более длительную реконструкцию температуры в июле с

180 в целом более высокое отношение сигнал/шум.

- 181 В защиту с бора образцов дисков мы признаем, что они предоставляют возможность
- 182 дополнительных исследований, в которых используются объемные измерения древесного материала в разрушительных экспериментах, включая
- 183 современных анатомических и биологических измерения древесины, высокомогущего разрешения, внутри- и
- 184 межодовых профилей плотности и изотопных отношений. Архивированные образцы дисков также могут стать
- 185 ценный ресурс для будущих поколений с еще неизвестными – исследовательскими вопросами, подходами и
- 186 методик, а также предоставление материалов для международного сотрудничества. Однако по сравнению с
- 187 кернов, большой вес и размер дисковых образцов является недостатком, как для транспортировки, так и для
- 188, и, очевидно, трудно оправдать вырубку Мафусаила ради одного эксперимента.
- 189
- 190 Благодарностей
- 191 Российский научный фонд поддержал полевые (проект 14-14-00295) и лабораторные работы
- 192 (проект 18-14-00072), а также дополнительная поддержка измерений была получена от Чешской Республики.
- 193 Республиканское агентство грантов (проекты 17-221025 и 18-172955). UB и FR получили финансирование от
- 194 Швейцарского национального научного фонда (проект 200021L_157187).
- 195
- 196 Авторские вклады
- 197 UB инициировал и координировал исследование. AVK, AP, TK и MR измеряли данные, а AVK
- 198 выполнили анализы с участием UB и PJK. AVK написали статью совместно с UB
- 199 и PJK. Все авторы предоставили критическое обсуждение.
- 200
- 201 Ссылки
- 202 Абаимов, А.П., 2010. Географическое распространение и генетика видов лиственницы сибирской, в:
- 203 Осва А., Зырянова О.А., Мацура Ю., Кадзимото Т., Вейн Р.В. (ред.). Вечная мерзлота
- 204 Экосистемы: Лиственничные леса Сибири. Экологические исследования, 209, стр. 41–58.

- 205 Бриффа, К.Р., Швайнг рубер, Ф.Х ., Джонс, П.Д., Осборн, Т.Дж., Харрис, И.С., Шиятов, С.Г .,
- 206 Ваганов, Е.А., Грудд, Х ., 1998. Деревья рассказывают о климате прошлого: насколько они меньше?
- 207 Ясносегодня? Philos. Trans. R. Soc. B 353, 65-73.
- 208 Дуглас, А.Е ., 1928. Климатические циклы и рост деревьев, Том II, Институт Карнеги,
- 209 Вашингтон, 166 стр.
- 210 Эспер, Дж., Кук, Э.Р., Крушич, П.Дж., Петерс, К., Швайнг рубер, Ф.Х ., 2003. Тесты RCS
- 211 Методы ранения: низкая частотная изменчивость в длинных древесно-кольцевых хронологиях. Tree Ring
- 212 Рез. 59, 81-98.
- 213 Эспер, Дж., Франк, Д., Бюнтген, У., Верстеге, А., Хатемиров, Р.М., Кирдянов, А.В., 2010. Тенденции.
- 214 и неопределенности в сибирских индикаторах потепления 20-го века. Global Change Biol. 16,
- 215 386-398.
- 216 Фриттс, Х.К. 1976. Годичные кольца и климат. Academic Press, Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско,
- 217 576 стр.
- 218 Харрис, И., Джонс, П.Д., Осборн, Т.Дж., Листер, Д.Х ., 2014. Обновленные сетки высотного разрешения ежемесячных
- 219 климатических наблюдений – набор данных CRU TS3.10. Int. J. Climatol. 34, 623-642.
- 220 Хеллманн, Л., Агафонов, Л., Юнkvист, Ф.К., Чуракова (Сидорова) О., Дюхорн, Э., Эспер, Ж.,
- 221 Хюльсманн, Л., Кирдянов, А.В., Моисеев, П., Мыглан, В.С., Николаев, А.Н., Рейниг, Ф.,
- 222 Швайнг рубер, Ф.Х ., Соломина, О., Тегель, В., Бюнтген, У., 2016. Разнообразные тенденции роста
- 223 и климатические реакции в бореальных лесах Евразии, Environ. Res. Lett. 11, 074021.
- 224 Хьюз, М.К., Ваганов, Е.А., Шиятов, С.Г., Тучан, Р., Фанкхаузер, Г ., 1999. Двадцатый-
- 225 летнее тепловое событие на севере Якутии в 600-летнем контексте. Глобал Ченж, 603-608.
- 226 Книббе, Б., 2004. PAST4 — Персональная система анализа для исследования деревьев, версия 4.
- 227 Руководство по эксплугации. SCIENCE/Бернхарт Книббе, Вена, 140 стр.
- 228 Манн, М.Е., Фуэнтес, Дж.Д., Резерфорд, С., 2012. Недооценка вулканических охладения в лесах
- 229 Реконструкция температур полушария на основе колец. Nat. Geosci. 5, 202-205.

- 230 Ринн Ф., 2003, TSAP-Win – Анализ временных рядов и презентация дендрохронологии и связанных с ней
231 приложений, Франк Ринн, Гейдельберг
- 232 Шульман, Э., 1937. Выбор деревьев для изучения климата. Tree Ring Bull. 3(3): 22-23.
- 233 Швайнгруббер, Ф. Х. 1996. Кольца деревьев и окружающая среда. Дендрохронология. Бирменсдорф, Швейцария
234 Федеральный институт исследований лесов, снега и ландшафта. Хаупт, Берн, Штутгарт,
235 Вена, 609 стр.
- 236 Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С., 1996. Дендроклиматические исследования на Урале.
237 Сибирская Субарктика. Наука, Новосибирск, 246 с.
- 238 Wigley, TML, Briffa, KR, Jones PD, 1984. Осреднением значения коррелированных временных рядов,
239 с приложениями в дендроклиматологии и гидрометеорологии. J. Clim. Appl. Meteorol.
240 23, 201-213.
- 241
- 242
- 243
- 244
- 245
- 246
- 247
- 248
- 249
- 250
- 251
- 252
- 253
- 254
- 255

256 Таблица 1. Хронологические характеристики (MSL = средняя длина сегмента, MS = отсутствующие кольца).

| Серия | ID N | Период MSL, | Иметь в виду | Иметь в виду | Иметь в виду | Первый год | Часть |
|---------|--------------|-------------|------------------|--------------|--------------|------------|-------|
| | серия | годы | чувствительность | Pбар | EPS | EPS>0,85/ | PC |
| | с | | | | | N серии | |
| Ядро-А | 19 1506-2016 | 367 | 0,343 | 0,377 0,908 | | 1653/9 | 0,903 |
| Ядро-В | 20 1521-2015 | 344 | 0.338 | 0,416 0,918 | | 1666/8 | 0,916 |
| Ядро-АВ | 39 1506-2015 | 349 | 0.334 | 0,413 0,954 | | 1628/11 | 0,845 |
| Диск | 40 1499-2016 | 396 | 0,336 | 0,427 0,960 | | 1544/6 | 0,511 |

257 Примечание: средняя прибыль на акцию рассчитывалась как среднее значение за 30-летние периоды, сдвинутые на 1 год, когда

258 глубина выборки 4.

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275 Подписи к рисункам

276 Рис. 1. (a) Фотография участка с овсвкой, показывающей местоположение (красная точка), (b) Временная эволюция

Размер выборки 277 в четырех наборах данных, с горизонтальной линией, указывающей на повторение 4 серий. 30-летний

278 скользящих (c) межсерийных коэффициентов корреляции (R_{bar}) и (d) EPS четырех хронологий,

279, а горизонтальная линия соответствует EPS 0,85.

280 Рис. 2. (a) Исходные и (b) стандартные хронологии четырех наборов данных с вертикальными линиями

281, на котором выделены годы, в которых размер выборки составляет 4 серии, а на вставке показана 30-летняя скользящая

282 межсерийных коэффициента корреляции четырех стандартных хронологий. (c) Процент отсутствующих

283 значений в каждой из четырех хронологий.

284 Рис. 3. Коэффициенты корреляции четырех стандартных хронологий и среднемесячные значения

285 температур сентября предыдущего года по сентябрь формирования колец, рассчитанных по

286 1950-2015. Карты корреляции раскрывают пространственную область изменчивости, объясняемой этими

287 хронологиями, которые фиксируют самый сильный (дисковый) сигнал температуры в июне ($r = 0,64$).

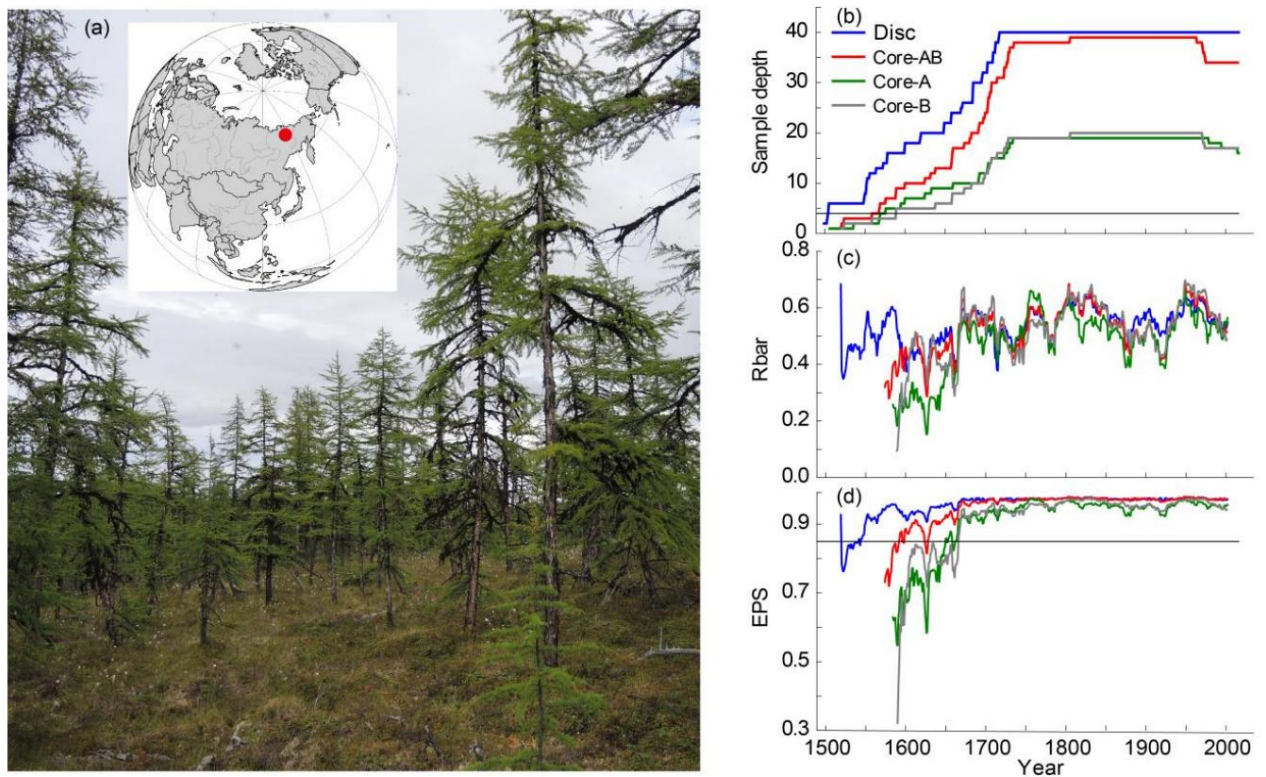
288

289

290

291

292



293

294 Рис. 1. (а) Фотография участка с овс тавкой, показываю щей местоположение (красная точка), (b) Временная эволюция

Размер выборки 295 в четырех наборах данных, с горизонтальной линией, указываю щей на повторение 4 серий. 30-летний

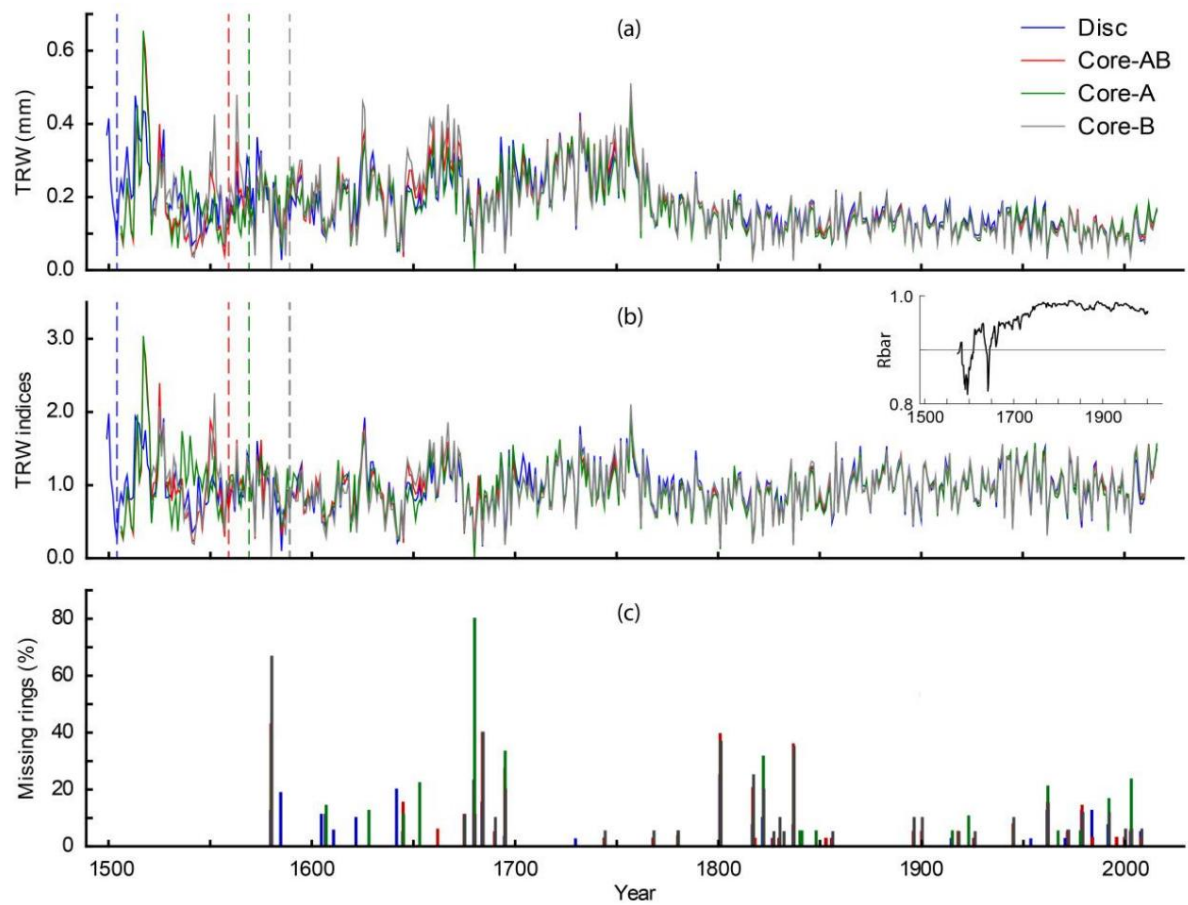
296 скользя щих (с) межсерийных коэффициентов корреляции (\bar{R}) и (d) EPS четырех хронологий,

297, а горизонтальная линия соответствует EPS 0,85.

298

299

300



301

302 Рис . 2. (а) Исходные и (b) стандартизированные хронологии четырех наборов данных с вертикальными линиями

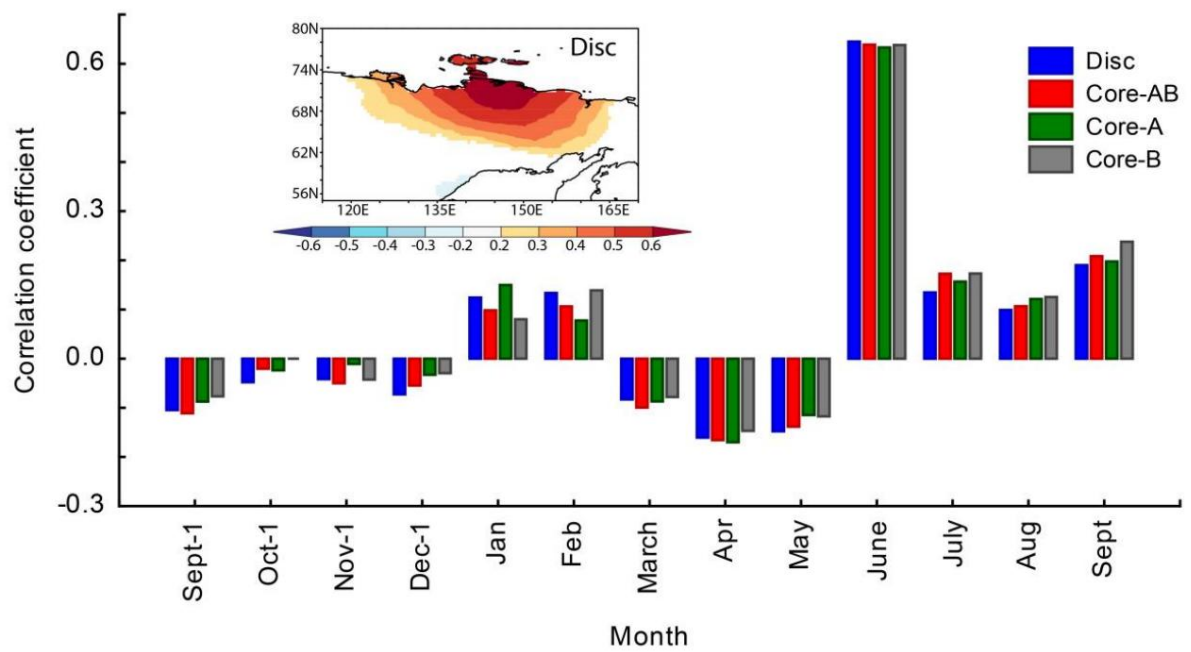
303, на котором выделены годы, в которых размер выборки составляет 4 серии, а на врезке показана 30-летняя скользящая

304 коэффициент межсерийной корреляции четырех стандартизированных хронологий. (c) Процент отсутствующих

305 колец в каждой из четырех хронологий.

306

307



308

309 Рис. 3. Коэффициенты корреляции четырех стандартных хронологий и среднемесячного значения

310 температур сентября предыдущего года по сентябрь формирования колец, рассчитанных по

311 1950-2015. Карты корреляции раскрывают пространственную область изменчивости, объясняемой этими

312 хронологиями, которые фиксируют самый сильный (дисковый) сигнал температуры в июне ($r = 0,64$).