

Сведения о достигнутых конкретных научных результатах по проекту РНФ № 14-14-00219 «Экспериментально-теоретический анализ изменчивости роста древесных растений в континентальной части Сибири (Енисейско-Ленский трансект)» в 2014 году

1. Новые пространственно-распределенных древесно-кольцевых и клеточные хронологий для региона исследования.

Получено 10 новых древесно-кольцевых хронологий по трем видам древесных растений: сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*), лиственницы Гмелина (*Larix gmelini*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) для региона исследований (Рис. 1).



Рис. 1 Карта расположения 10 новых дендрохронологических участков (маркеры зеленого цвета), для которых построены древесно-кольцевые хронологии создаваемого трансекта.

Различными способами стандартизации на основе негативной взвешенной экспоненты, кубического интерполяционного сплайна, линейной регрессии, региональной возрастной кривой, Signal-Free- подхода и т.д. (Cook, Kairiukstis, 1990; Melvin, 2004; Melvin, Briffa, 2008) получены древесно-кольцевые хронологии (ДХК). Каждый способ получения ДХК тестировался на основе VS-осциллографа с целью выявления такой процедуры стандартизации, которая максимально сохраняла климатическую составляющую в годичных кольцах деревьев.

Выявлено, что лучшим способом стандартизации ДХК является процедура на основе кубического сплайна интерполяции с последующим удалением автокорреляционной составляющей на базе ARIMA-моделирования. ДХК, полученные таким образом, носят название остаточных ДХК в дендрохронологии (Cook, Kairiukstis, 1990). Остаточные хронологии для четырех реперных точек трансекта (2 участка с 2 видами древесных растений (*Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*), расположены в среднем течении р. Енисей; 2 участка (*Pinus sylvestris*, *Larix gmelini*) – в радиусе 100 км от г. Якутск) во всех случаях давали устойчивые результаты VS-моделирования и на этапе калибровки имитационной модели, и на этапе верификации.

Получены первые клеточные измерения для периода с 1960 по 2014 гг. и построены стандартизированные клеточные хронологии по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*) для двух местообитаний в Якутии (стационар Спасская Падь, 100 км от г. Якутск). Клеточные измерения получены на основании двух независимых подходов: 1) при помощи системы анализа изображений (Image Analysis System) (Carl Zeiss, Jena) и 2) при помощи специализированной системы Image Pro Plus (IPP) компании Media Cybernetics и ее адаптацией к клеточным измерениям древесных растений – Roxas. Данные измерения и соответствующие хронологии построены по диаметру трахеиды, толщине клеточной стенки и радиальному размеру люмена.

2. Модификация имитационной модели Ваганова-Шашкина роста древесных растений, ее параметризация и тестирование работы новых компьютерных приложений.

Был предложен новый способ параметризации модели Ваганова-Шашкина – VS-осциллограф с модификацией и исправлением базового кода данной модели (Vaganov et al., 2006). Работа VS-осциллографа была протестирована как на существующем дендроклиматическом материале Урало-Сибирского банка данных, так и вновь полученного в рамках выполнения данного проекта РФ (Тычков и др., 2015).

Показано, что новый способ параметризации (VS-осциллограф) позволяет, не имея информации о процессах роста тех или иных видов древесных растений для различных местообитаний, получить первичную качественную информацию как о процессах роста самих древесных растений, так и оценить условия произрастания древесных растений, на основании использования только температуры и осадков суточного разрешения с близлежащей метеостанции. В частности, выявлены различия в реакции древесных растений разных видов на меняющиеся условия внешней среды, получить фенологические характеристики того или иного вида деревьев, оценить локальные условия местообитания и т.д. (Рис.2) (Тычков и др., 2015)

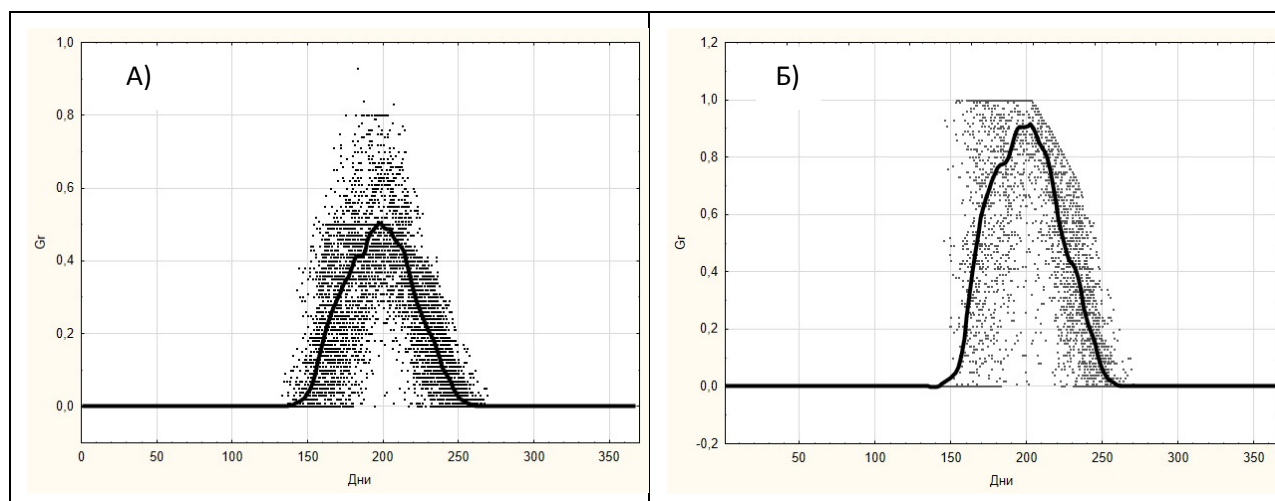


Рис.2 Средние интегральные сезонные скорости роста годичных колец древесных растений с одного местообитания, полученные для двух видов древесных растений: А) Лиственница сибирская (*Larix sibirica*), Б) Ель сибирская (*Picea obovata*)

В рамках проекта предложен модифицированный блок модели, оценивающий размеры клеток в годичном кольце (фактически, сезонную клеточную продукцию). Модифицированный алгоритм протестирован на существующем дендроклиматическом материале Урало-Сибирского банка данных (Попкова и др., 2015).

В частности, модифицированный блок оценки клеточной продукции позволил отделить влияние факторов климатической и неклиматической природы в процессе формирования

клеток в годичных кольцах древесных растений (Рис. 3). В дальнейшем для тестирования данного алгоритма планируется использовать данные с пробных площадей (участков) других местообитаний, других пород древесных растений и, по возможности, с хорошо документированной историей событий для конкретного местообитания (Попкова и др., 2015).

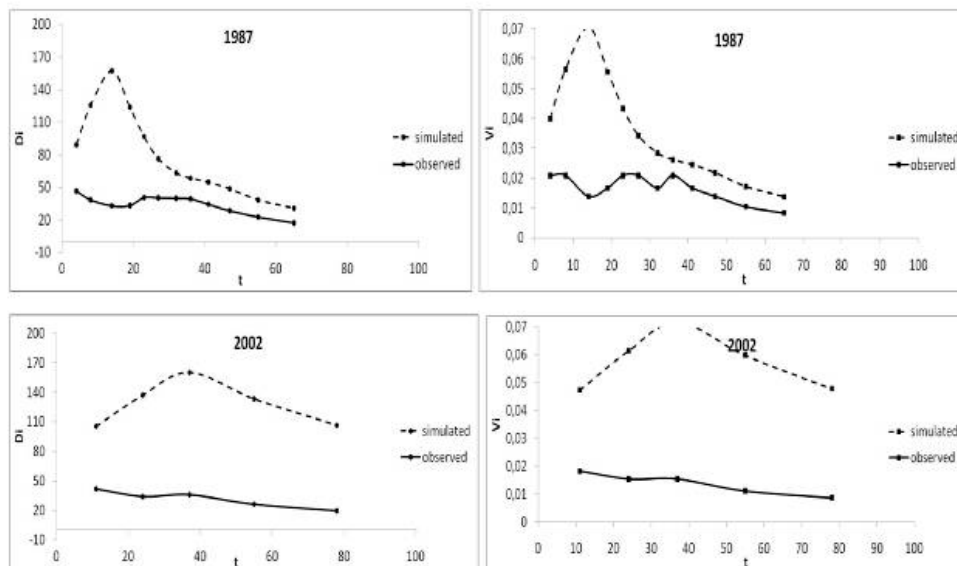


Рис.3 Примеры статистически значимых ($p < 0.05$) расхождений между наблюдаемым (черная сплошная линия) и смоделированным на основе климатических данных (серая пунктирная линия) профилями диаметральных размеров клеток в определенные сезоны роста

Отметим, что VS-осциллограф является полуавтоматическим способом параметризации модели Ваганова-Шашкина, предназначенного для детального изучения роста древесных растений для конкретного местообитания. Для автоматического нахождения 42 оптимальных параметров модели в случае анализа различных древостоев для обширных территорий Евразии предложена концепция параметризации на основе ИТ-алгоритма дифференциальной эволюции (Storn, Price, 1995).

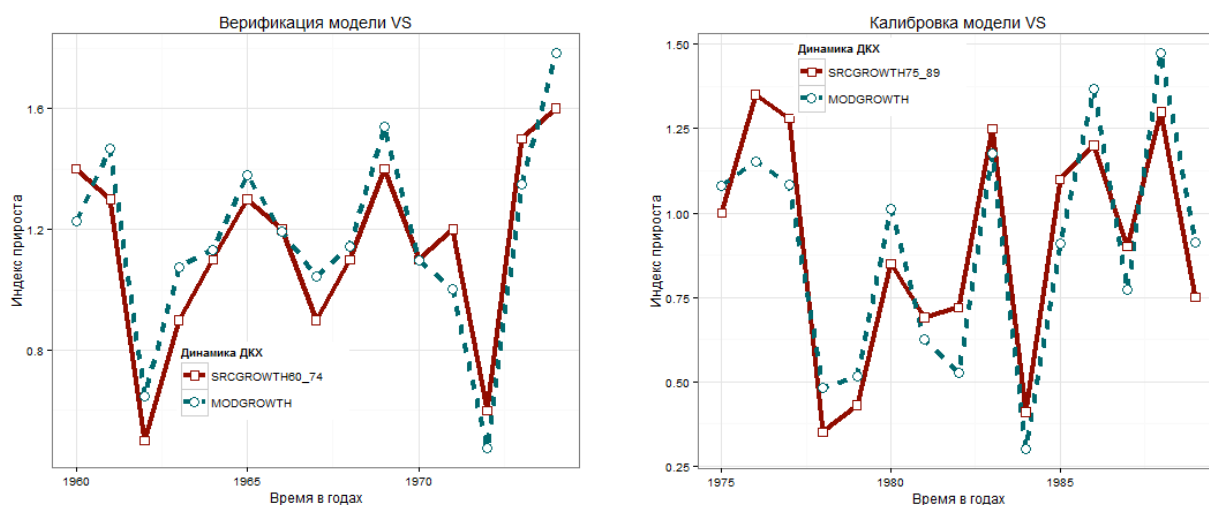


Рис. 4. Тестирование модуля автоматической параметризации [Tiktaalik](#) на дендроклиматических данных, полученных с севера республики Саха-Якутия (пос. Чокурдах) на этапе калибровки (1975-1989 гг.) и верификация модели (1960-1974 гг.).

Значения имитационной VS модели подбираются методом дифференциальной эволюции, реализованным в виде внешнего модуля, по отношению к программному коду модели. Дифференциальная эволюция (англ. differential evolution), это метод многомерной математической оптимизации, относящийся к классу стохастических алгоритмов оптимизации (то есть работает с использованием случайных чисел) и использующий некоторые идеи генетических алгоритмов. Модуль автоматической параметризации VS-модели присвоено имя рептилии [Tiktaalik](#), как сильно *эволюционирующему* виду. Эта рептилия является переходным звеном между рыбами и наземными позвоночными. Исходный код модуля автоматической параметризации был размещен на сайте [bitbucket.org](#), в закрытом репозитории проекта. Модуль был запрограммирован на свободном, высокоуровневом и высокопроизводительном языке JuliaLang, разработанным в Массачусетском техническом институте. Проведено первое успешное тестирование данного способа автоматической параметризации (Рис. 4)

3. Дендроклиматическое районирование.

Прямого дендроклиматического районирования исследуемой территории на основе имеющихся древесно-кольцевых хронологий, кластерного и дискриминантного анализа провести не удалось из-за отсутствия достаточного количества и неоднородности пространственного распределения дендрохронологических данных (Рис. 5).

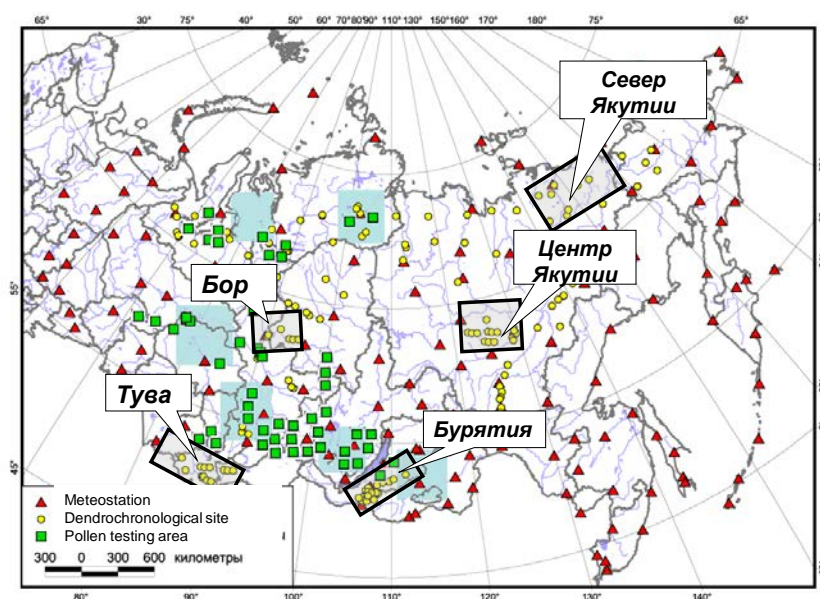


Рис. 5 Дендроклиматическое районирование 104 стандартных древесно-кольцевых хронологий Урало-Сибирского банка дендрохронологических данных (желтые кружки), расположенных в Центральной и Восточной Сибири.

Общим временным периодом для районирования являлся интервал с 1900 по 1998 гг. Каждая хронология являлась объектом (вектором) классификации, который характеризовался 21 значением индекса прироста (индекс прироста брался через каждые 5 лет, начиная с 1900 г.). На основе статистических методов деревьев кластеризации (tree clustering) и K-средних (K-means), дискриминантного анализа было выявлено 5 регионов с однородным откликом древесных растений на изменения условий внешней среды (Рис. 5). Выявлено существенное отличие восточной оконечности (Центр Якутии) от западного края (окрестность пос. Бор) Енисейско-Ленского трансекта. Это подтверждает гипотезу

существования климатического градиента вдоль данного долготного трансекта (Shishov, Vaganov, 2010), которое получено на основании анализа карт трендов NDVI и трендов в пространственно-распределенном приросте для нового трансекта, создаваемом в проекте.

4. Web-платформы проекта.

При создании web-платформы проекта (<http://vs-genn.ru/dev/index.html> - версия, открытая для экспертов РНФ) была использована технология CSS Framework Twitter Bootstrap (Рис. 6). Разработанный авторами проекта РНФ макет Bootstrap страниц легко масштабируется на разные устройства и разрешения экрана без каких-либо изменений в разметке, используя единый стиль и шаблоны с помощью центральной библиотеки. В итоге дизайн и макеты веб-страниц согласуются друг с другом и веб-платформа совместима со всеми современными браузерами, такими как Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari, Internet Explorer и Opera.

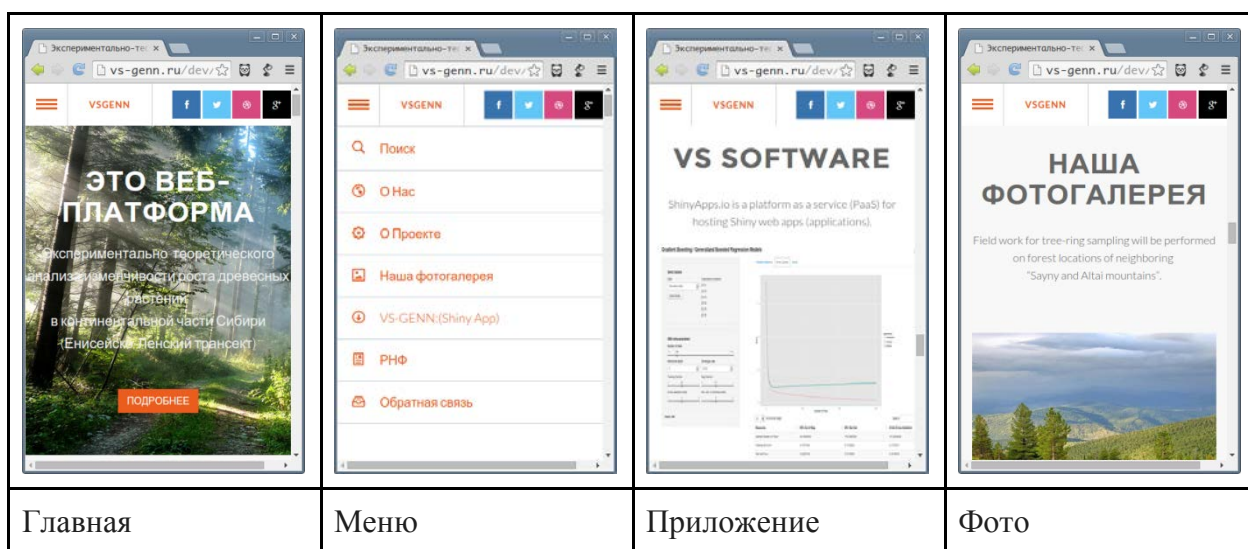


Рис.6 Web-платформа, разрабатываемая в рамках проекта РНФ, и ее разделы.

В данной разработке была использована концепция отзывчивого дизайна, когда даже расчетные приложения автоматически умеют должным образом подстраиваться (отзываться) под размер экрана пользователя. Привнесение динамической функциональности на страницы web-платформы были реализованы используя jQuery - библиотеки JavaScript, которая фокусируется на взаимодействии JavaScript и HTML.

В качестве основного web-сервера в проекте было использовано кросс-платформенное ПО Apache, которое поддерживает операционные системы Linux, BSD, Mac OS, Microsoft Windows, Novell NetWare, BeOS.

Создаваемая web-платформа проекта предполагает хранение климатических и пространственных данных, маршруты с подсчетом их длины. Эта задача решается с помощью технологии pgrouting (postgis), которая реализует стандарт OpenGIS. PostgreSQL применяется в самом критичном сегменте нашей IT-инфраструктуры проекта, который связан с обработкой и хранением климатических и дендрохронологических данных.

При разработке структуры хранения документов была использована специализированная база данных MongoDB, которая восполняет технологический разрыв между простейшими NoSQL-СУБД и большими реляционными СУБД (со структурными схемами и мощными запросами).

В качестве программной платформы сервера приложений используется Node.js, как основной серверный web-компонент, позволяющее создать способное к масштабированию серверное приложения для нескольких сетевых серверов работающих как кластер.

В качестве действующей программной среды вычислений, обработчика запросов, выступает язык программирования R (RStudio Server), применяемый для статистической обработки данных и работы с графикой.

Интерактивность web-приложений (на базе R) реализована через пакет Shiny (Shiny Server) с возможностью размещать несколько модулей приложения по одному адресу порта, с разными URL. Данная технология позволила использовать парадигму реактивного программирования, включая масштабируемость (scalability), событийно-ориентированное программирование (event-driven programming), отзывчивость (responsiveness) и устойчивость (resilience)..

Все приложения, созданные по проекту разместятся в интернет при помощи сервиса shinyapps.io и на собственном сервере Shiny в дата-центре СФУ с доступом через авторизацию на VPN сервере СФУ.

Вся новостная информация по проекту публикуется по адресу @vs_genn_news в Twitter проекте. Сам web-платформа размещается по адресу <http://vs-genn.ru>, который временно закрыт для внешних пользователей интернет.

5. Публикация по проекту.

В соответствии с подписанным соглашением по проекту РНФ 14-14-00219 на 2014 год не было запланировано публикаций. Тем не менее, 2 статьи было принято в печать в издании, индексируемом в РИНЦ (Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология»), одна статья опубликована в издании СО РАН:

Попкова М.И., Тычков И.И., Бабушкина Е. А., Шишов В.В. 2015. Модифицированный алгоритм оценки радиальных размеров клеток в имитационной модели Ваганова-Шашкина. \\ Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология» (принята в печать) (РИНЦ)

Тычков И.И., Коюпченко И.Н., Ильин В.А., Шишов В.В. 2015. Визуальная параметризация имитационной модели Ваганова-Шашкина и ее применение в дендрозокологических исследованиях. \\ Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология» (принята в печать) (РИНЦ)

Шишов В.В., Тычков И.И., Попкова М.И., Коюпченко И.Н., Брюханова М.В., Кирдянов А.В. 2014. Моделирование сезонного роста годичных колец деревьев на территории Евразии. \ Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию ИЛ СО РАН «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика» (под ред. Ю.Н.Баранчикова и др.).

Совместно с зарубежными коллегами (Prof. Emilia Gutiérrez, University of Barcelona, Spain; Prof. Ramzi Touchan, University of Arizona, USA; Prof. David Meko, University of Arizona, USA) готовится к печати две статьи в изданиях Web of Science и Scopus (New phytologist (IF 6.55) и Biogeosciences (IF 3.75)).