

Сведения о фактическом выполнении плана работы по проекту РНФ № 14-14-00219 «Экспериментально-теоретический анализ изменчивости роста древесных растений в континентальной части Сибири (Енисейско-Ленский трансект)» на 2014 год

1. Экспедиционные работы камеральная обработка материала.

Проведены 3 экспедиции по сбору нового дендрохронологического материала (два радиуса по 20-50 отдельным деревьям) по 4 лесообразующим породам: лиственница сибирская (*Larix sibirica*), лиственница Гмелина (*Larix gmelini*), лиственница Каяндара (*Larix cajanderi*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) по 31 точке (дендрохронологическим тест-полигонам) трансекта : восточная часть Центральной Якутии, западная часть восточной Якутии, Среднее течение р. Енисей (Рис. 1). Длина Енисейско-Ленского трансекта с Востока на Запад составила 3330 км. Всего собрано 1050 древесных образцов (керн) для отдельных деревьев по двум радиусам. Ведется камеральная обработка материала на основе технологии, описанной в отчете по проекту 2014 г..

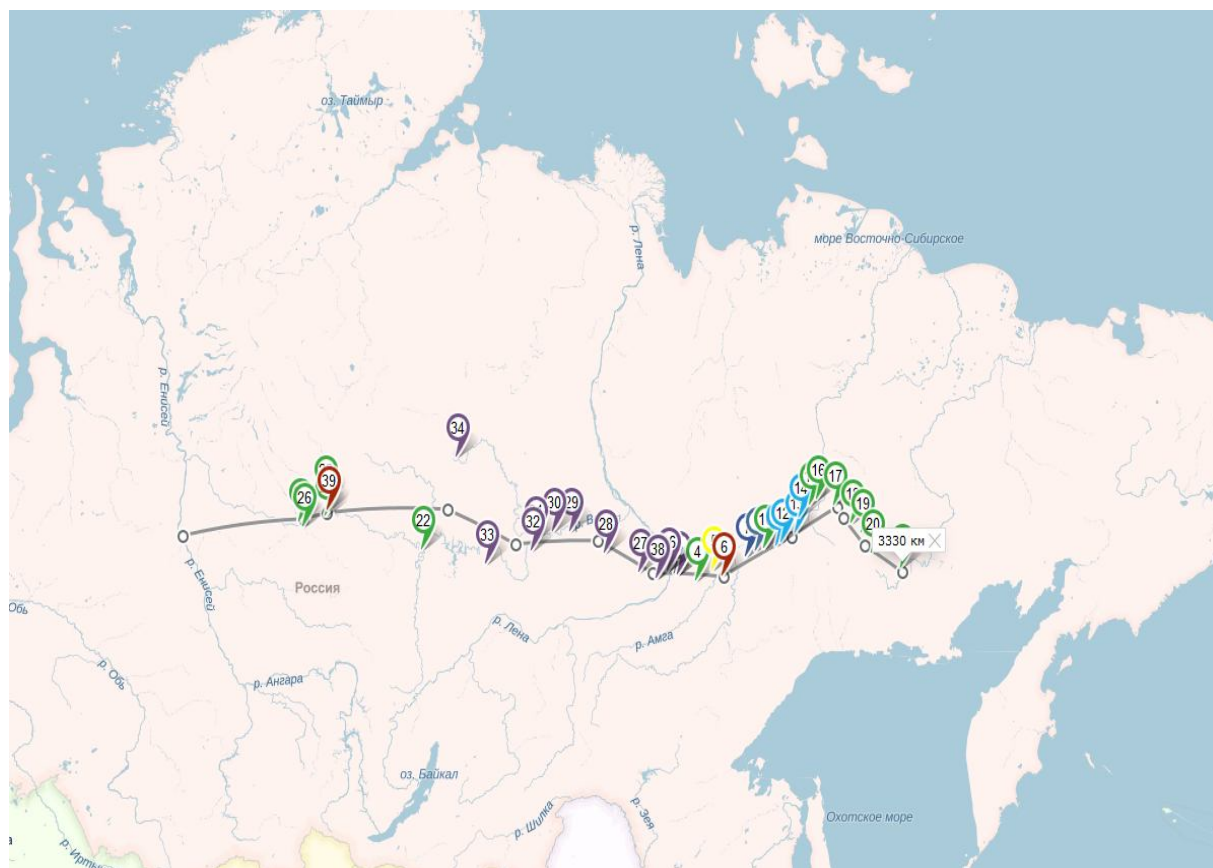


Рис. 1 Карта расположения дендрохронологических тест-полигонов, образующих долготный Енисейско-Ленского трансект.

Восточная часть Центральной Якутии

Обследованная территория согласно лесорастительному районированию Якутии (Исаев 2011) охватывает 2 провинции: 1) Центральная якутскую среднетаежную сосново-лиственничных лесов и 2)-Восточногогорную и предгорно северотаежную лиственничных лесов. Сбор материала был проведен вдоль федеральных дорог «Лена»

и «Колыма» по направлению «Якутск-Магадан». Протяженность маршрута 1370 км в одном направлении. Всего за время экспедиции заложено 21 ключевой участок, на каждом собрано по 30-35 кернов. Трансект включает 4 участка с преобладанием в составе сосны обыкновенной, 16 участков - с лиственницей гмелина и 1 участок – с елью.

Plot pinus 1 (координаты 62.5 С.Ш., 130.8 В.Д, высота над уровнем моря 113 м). Сосняк толокнянковый (10С+Лц) с единичными экземплярами лиственницы в составе второго яруса. Песчаный водораздел р. Лена, тип почвы супесчаный оподзоленный, с нормальной степенью дренированности. Увлажнение атмосферное в целом, сухие места произрастания. Сомкнутость древостоя 0.5, продуктивность оценивается IV классом бонитета с запасом древесины 170-200 м³/га. Подрост представлен сосной с примесью лиственницы произрастающей био группами. Подлесок практически отсутствует, изредка встречается шиповник. Живой напочвенный покров в значительной степени нарушен выпасом скота, общее проективное покрытие 70-80 %. В составе напочвенного покрова преобладает толокнянка (*Arctostaphylos uva-ursi* 60%), шикша сибирская ([*Empetrum sibiricum*](#) 20%), таволга обыкновенная (*Filipéndula vulgáris* 3%), простер желтеющий (*Pulsatilla flavescens*), кошачья лапка (*Antennária dioica*), осока стоповидная (*Carex pediformis*). Мхов мало, изредка встречается политрихум волосоносный (*Polytrichum piliferum*), цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*). Лишайников также не много. Это виды *Cladonia*, *Cetraria cucullata*.



Сосняк толокнянковый

Plot pinus 2 (координаты 62.44 С.Ш., 136.25 В.Д, высота над уровнем моря 245 м). Сосняк мертвопокровно-кустарничковый (10Лц+Лц,Б). Занимает не большой участок на перегибе водораздельного пространства от коренных склонов речных долин, уклон склона 35%. Отмечены следы нескольких лесных пожаров. Почвы легкосуглинистые

каменистые. Увлажнение атмосферное. Сосновый древостой III класса бонитета с полнотой 0.7. Средний диаметр древостоя 18-22 см, высота 20-24 м. В подлеске встречается таволга средняя (30%), шиповник иглистый (30%), жимолость алтайская (5%), черная смородина (3%), малина (редко). Травяной покров плохо развит, представлен чиной лесной ([Lathyrus sylvestris](#) 10%), кипреем (*Chamaenerion* 5%), кровохлебка (*Sanguisorba* 5%), мышиный горошек (*Vicia cracca* 7%), Сон-трава (*Pulsatilla patens* 3%). Моховой покров не развит, изредка встречается политрихум волосоносный (*Polytrichum piliferum*), цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*).



Сосняк мертвопокровно-кустарничковый

Plot pinus 3 (62.05 С.Ш. 134.24, высота над уровнем моря 191 м). Сосняк бруснично-зеленомошный (10С+Лц, Б). Долинный тип местности, верхняя часть склона, уклон местности 5-6°. Почвы супесчаные, хорошо дренированные. Небольшой массив (≈7 га) соснового насаждения по понижениям сменяется березово-лиственной формацией. Класс бонитета IV, преобладающая полнота 0,6. Древостой сложный по возрастной структуре, представлен несколькими поколениями сосны. Диаметр и высота изменяются в широких пределах: d = от 15 до 35 см; h = от 10 до 16 м. Подрост густой, но угнетенный состоит из нескольких поколений сосны, лиственницы, осины и березы. Подлесок развит плохо, представлен шиповником иглистым (6%). Травяной покров однообразный состоит из брусники (*Vaccinium vitis-idaea* 10%), черники (*Vaccinium myrtillus* 2%), багульника ([Ledum palustre](#) 7%), хвоща лесного ([Equisetum sylvaticum](#) 5%), шикши сибирской ([Empetrum sibiricum](#) 7%). Моховой покров не сплошной (70-80%), с преобладанием плеуроциум Шребери (*Pleurozium Schreberi* 60%), мха этажного (*Hylocomium proliferum* 5%), кукушкина лена (*Polytrichum commune* 2%). Лишайниковый покров состоит из кладонии приальпийской ([Cladonia alpestris](#) 3%), кладонии лесной — ([Cladonia sylvatica](#) 7%).



Сосняк бруснично-зеленомошный

Plot pinus 4 (62.09 С.Ш., 130.30 В.Д., высота над уровнем моря 231 м). Бруснично-лишайниково-толокнянковый сосняк (8С2Лц). Участок расположен на тунгюлюской террасе правого берега р. Лена, всхолмленная. Межаласный тип местности. Почвы рыхло-песчаные, слабоподзоленные, низкой трофности. Сухие местопроизрастания. Увлажнение преимущественно атмосферное. Древостой частично нарушен незаконной вырубкой леса. Полнота – 0,3-0,4. Запас древостоя 120 м³/га, высота 11-14 м, диаметр 14-20 см. Подлесок отсутствует. В травянистом покрове преобладает толокнянка боровая (60%) и сопутствующие ей ксерофилы: осока стоповидная – *Carex pediformis* 3%, простел желтеющий – *Pulsatilla flavescens* 3%, а так же брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 15%), шикша сибирская ([*Empetrum sibiricum*](#) 5%), черника (*Vaccinium myrtillus* 5%), голубика (*Vaccinium uliginosum* 1%). Моховой покров не развит, единично встречается цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus* 1%). Лишайниковый покров имеет куртинный характер распространения (30%), представлен: кладонией приальпийской ([*Cladonia alpestris*](#) 3%), [кладонией лесной — \(*Cladonia sylvatica* 7%\)](#), кладонией оленьей (*Cladonia rangiferina* 15%), цетрарией исландской (*Cetraria islandica* 5%).



Бруснично-лишайниково-толокнянковый сосняк

Larch1 (61.56 С.Ш., 132.08 В.Д., высота над уровнем моря 210 м). Лиственничник бруснично-зеленомошный. Межаласная возвышенность, вблизи с открытым безлесным

пространством, с повышенной рекреационной нагрузкой на мерзлотно-таежных палевых суглинистых почвах. Степень влажности почв средняя. Древостой чистый (10Лц), разновозрастный, изреженный, полнота 0,4-0,5. Бонитет IV-V. Количество спелых и перестойных деревьев невысокая - 350-400 шт/га, запас древесины 100-140 м³/га. Подрост густой представлен куртинами лиственницы, часть которого сильно угнетена. Подлесок представлен редкими экземплярами сильно угнетенного шиповника иглистого. Травяно-кустарничковый покров почти сплошной (70 %), наибольшее участие в структуре которого принимает брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 60 %), с меньшим обилием встречаются мышиный горошек (*Vicia cracca* 5%), багульник (*Ledum palustre* 2%), чина приземистая (*Lathyrus humilis* 2%), грушанка красная (*Pyrola incarnata* 2%). Моховой покров выражен хорошо, проективное покрытие 60 %. Встречается плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*), дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*), *Sanionia uncinata*, *Rhytidium rugosum*. Лишайники единичны, на валеже и припневых возвышениях (*Cladonia*, *Cetraria*).



Лиственничник бруснично-зеленомошный.

Larch 2 (63.06 С.Ш., 139.04 В.Д., высота над уровнем моря 878 м). Горный лиственничник лишайниковый (10Лц) с подлеском из кедрового стланика. Расположен в Алданском районе, в верхнем высотном поясе растительности. Почвы горно-таежные каменисто-суглинистые, увлажненные. Древостой одноярусный с полнотой 0,3, с пониженной производительностью соответствующей V классу бонитета. Лесовосстановление представлено угнетенным подростом лиственницы. Подлесок развит хорошо, состоит из березы Миддендорфа (50%) и кедрового стланика (5%), ольховника (3%), шиповника иглистого (3%) и смородины белой (2%). Травяно-кустарничковый ярус сформирован брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* 55 %), багульником (*Ledum palustre* 20%), осокой Ван-Хьюрка (*Carex vanheurckii* 3%), морошкой (*Rubus chamaemorus* 1%), голубикой (*Vaccinium uliginosum* 5%). Мохово-лишайниковый покров с покрытием 80%, образован в основном лишайниками из родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera*.



Горный лиственничник лишайниковый

Larch 3 (63.32 С.Ш., 140.44 В.Д., высота над уровнем моря 1119). Лиственничник кустарничково-зеленомошный (10Лц). Почвы горно-таежные каменисто-суглинистые, сырые. Древоостой чистый по составу, не высокая полнота (0,3), бонитет V. Диаметр древоостоя до 15 см, высота 9-12 см. На увлажненных почвах подлесок образован кустарниковыми видами березы (40%) и ивы (3%), шиповником иглистым (1%). В напочвенном покрове присутствует брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 35 %), багульник (*Ledum palustre* 25%), сфагнум (2%), лишайники из родов (15%) *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera*.



Лиственничник кустарничково-зеленомошный

Larch 4 (64.25 С.Ш., 144.03В.Д., высота над уровнем моря 626). Лиственничник кустарничково-зеленомошный (плевроциум) (10Лц). Нижняя часть склона (15⁰)северо-западной экспозиции, склон ровный у подножья слегка выпуклый. Почвы горно-таежные маломощные каменистые. Увлажненные осадками и подтоком. Полнота древоостоя 0,5-0,6. Высота деревьев варьирует от 9 до 13 м, диаметр до 16 см. Подлесок густой, сформирован зарослями березы низкой (60%), ивы кустарничковой (5%). В напочвенном покрове доминируют брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 40 %), багульником (*Ledum palustre* 35%). Моховой покров развит хорошо. В нем преобладают зеленые мхи (*Hylocomium proliferum*, *Dicranum undulatum*, *Pleurozium Schebert*, *Ptilium crista*

castrensis), а так же сфагнум (10%). Лишайники занимают подчиненное положение (3%).



Лиственничник кустарничко-зеленомошный

Larch 5 (63.50 С.Ш., 145.33 В.Д., высота над уровнем моря 833 м). Лиственничник бруснично-зеленомошный (аулякомниевая) (10Лц). Тип местности межгорно-долинный. Почвы горно-таежные маломощные среднекаменистые, суглинистые, влажные, увлажненные осадками и подтоком. Старая вырубка (60 лет) ранее пройденная пожаром. Насаждения характеризуется низкой продуктивностью (V класс бонитета) и полнотой (0,4). Древостой одновозрастный, запас древесины 80-100 м³/га, диаметр 10-12 см, высота 8-10 м. Подлесок развит в средней степени, в его состав входит береза тощая (30%), ива кустарничковая (4%) и шиповник иглистый (1%). Ярус крупного лесного разнотравья сформирован багульником (*Ledum palustre* 10%), голубикой (*Vaccinium uliginosum* 10%). Во втором ярусе преобладает брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 80 %). Моховой покров развит хорошо, имеет сплошное покрытие. Преобладают зеленые мхи.



Лиственничник бруснично-зеленомошный

Larch 6 (62.53 С.Ш., 147.16 В.Д., высота над уровнем моря 866 м). Лиственничник кустарничково-зеленомошный (10Лц). Межгорно-котловинный тип местности (уклон 3-5⁰). Тяжелый суглинок, таежно палевые почвы, влажные, увлажненные осадками и

подтоком. Залегание мерзлоты на 20 см. Дрестовой низкорослый (V-Va класс бонитета) и фаутный, редкий (полнота 0.2-0.3). Диаметр отдельных деревьев 15 см, высотой до 10 м. Подрост средней густоты представлен Лц. Подлесок представлен ерником из березы тощей (40%) и ивы кустарничковой (3%). В живом напочвенном покрове преобладает брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 80 %), голубика (*Vaccinium uliginosum* 5%), багульник (*Ledum palustre* 20%), осока круглая (*Carex orbicularis* 1%), иван-чай (*Chamaenerion* 2%). Хорошо развит моховой покров (80%) состоящий из обычных лесных мхов: *Hylocomium proliferum*, *Dicranum undulatum*, *Pleurozium Schebert*, *Ptilium crista castrensis* и др. Лишайники представлены (20%): *Cladonia rangiferina*, *Cladonia alpestris*, *Cladonia sylvatica* и др. и *Cetraria*.



Лиственничник кустарничково-зеленомошный

Larch 7 (62.24 С.Ш., 149.50 В.Д., высота над уровнем моря 457 м). Лиственничник ерничково-зеленомошный (10Лц). Межгорно-котловинный тип местности. Дрестовой занимает пологий склон (2-3⁰). Почвы среднесуглинистые мерзлотно-таежные палевые. Наличие пней и старых пожарных подсушин говорит а том, что ранее дрестовой был вырублен и не однократно горел. Дрестовой чистый по составу, куртинное сложение. Бонитет IV класса. Полнота 0,1-0,2. Высота деревьев 8-10 м, диаметр 14-18 см. Подлесок хорошо выражен, состоит из березы (80%), кедрового стланика (2%), изредка встречается роза иглистая. Доминантам травяно-кутарничкового яруса является багульник (*Ledum palustre* 10%), в числе сопутствующих видов - брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 3 %), голубика (*Vaccinium uliginosum* 10%), осока шаровидная, вейник Лангсдорфа. Сплошной и мощный покров образован мхами различных экологических групп (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum undulatum*, *Aulacomnium palustre*, *Ptilium crista-castrensis*, *Ptilidium ciliare*, *Sphagnum angustifolium*, *Polytrichum commune* и др.).



Лиственничник ерниково-зеленомошный

Larch 8 (63.32 С.Ш., 146.25 В.Д., высота над уровнем моря 1026 м). Кустарничко-зеленомошный с ерником из березы (10Лц). Горный тип местности (уклон 20^0), почвы горно-таежные каменисто-суглинистые. Средневлажные местопроизрастания. Наличие пней и старых пожарных подсушин говорит о том, что ранее древостой был вырублен и не однократно горел. Древостой одноярусный с полнотой 0.3 из лиственницы соответствующей IV-V классу бонитета. Диаметр 18-25 см, высота 15-18 м. Подлесок развит хорошо из березы низкой (30%), шиповника иглистого (3%), рододендрона даурского (3%), ольховника и ивы. Травяной покров рыхлый, с покрытием 60%, встречается багульник (*Ledum palustre* 5%), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 40 %), голубика (*Vaccinium uliginosum* 5%), шикша сибирская (*Empetrum sibiricum* 5 %), осока и злаки. Мохово-лишайниковый покров с покрытием 80%. Образован лишайниками 15% из родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera* и лесными мхами 65-70% (аулакомниум вздутый (*Aulacomnium turgidum*), дикранум волнистый (*Dicranum undulatum*) и др.).



Лиственничник кустарничко-зеленомошный с ерником из березы кустарниковой

Larch 9 (64.36 С.Ш., 142.32 В.Д., высота над уровнем моря 1164 м). Лиственничник зеленомошно-лишайниковый с кедровым стланником (10Лц). Горно-привершинный тип местности. Ольчанский перевал. Почвы суглинистые сильно каменистые, увлажнение атмосферное. Древостой сильно угнетенный и разреженный, с полнотой 0.1. Класс бонитета V^a. Высота деревьев 10-12 м, диаметр 12-15 см. Подрост редкий, разных возрастных поколений. Подлесок развит хорошо, представлен в основном кедровым стлаником (40%) с участием карликовой березы (25%), шиповника иглистого (3%) и ивы кустарниковой (1%). В живом напочвенном покрове присутствует брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 10 %), багульник (*Ledum palustre* 10%), шикша сибирская (*Empetrum sibiricum* 10 %), иван-чай (*Chamaenerion* 2%), хвощ луговой (1%), осока (5%), вейник. Мохово-лишайниковый покров образован лишайниками (35%) рода *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera* и лесными мхами (30%) *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum undulatum* и др.



Лиственничник зеленомошно-лишайниковый с кедровым стланником

Larch 10 (64.26 С.Ш., 141.55 В.Д., высота над уровнем моря 617 м). Лиственничник зеленомошно-разнотравный (10Лц). Межгорно-островной тип местности. Почвы мерзлотно-таежные суглинистые. Увлажнение осадками и подтоком. Относительная полнота древостоя 0,5-0,6. Восстановительная стадия чистых лиственничников вырубленных около 60 лет тому назад. Подлесок развит хорошо, по площади распространен не равномерно – куртинами березы низкой (15%) и единичными экземплярами ивы кустарниковой, смородины красной, шиповника иглистого. Подрост представлен несколькими возрастными поколениями лиственницы, редкий. Травяной покров развит хорошо, общее покрытие приближается к 90%. В покрове господствуют вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii* 30%), осока (*Carex* sp 30%) с участием брусники (*Vaccinium vitis-idaea* 10 %), багульника (*Ledum palustre* 4%), чина лесная (*Lathyrus sylvestris* 5%), живокость высокая (*Delphinium elatum* 5%), агrostис (*Agróstis* 3%). Моховой покров выражен, проективное покрытие 60 %. Встречаются лишайники из родов (20%) *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera*.



Лиственничник зеленомошно-разнотравный

Larch11 (64.03 С.Ш., 141.03 В.Д., высота над уровнем моря 783 м). Лиственничник зеленомошно-лишайниковый (10Лц). Нижняя треть склона долины. Горно-долинный тип местности (уклон 8-10⁰). Почвы мезлотно-таежные суглинистые. Увлажнение осадками и подтоком. Древостой с сомкнутостью 0.3-0.4 пониженной производительностью соответствующей V классу бонитета. Высота деревьев 10-12 м, диаметр 15-27 см. Подрост Лц редкий сильно угнетенный. Подлесок развит средне, представлен березой низкой (40%), ивой кустарничковой (5%), рододендром даурским (5%). Травяной покров рыхлый, не сплошной представлен голубика (*Vaccinium uliginosum* 10%), багульник (*Ledum palustre* 10%), шикша сибирская (*Empetrum sibiricum* 5%), осокой (20%) и злаками (5%). Мохово-лишайниковый покров образован в основном лишайниками (50%) рода *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera* и мхами (30%) *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum undulatum* и др.



Лиственничник зеленомошно-лишайниковый

Larch12 (63.13 С.Ш., 139.30 В.Д., высота над уровнем моря 1327 м). Лиственничник лишайниковый (10Лц). Левый склон (ЮЗ угол 10-12⁰) долины ручья. Тип местности горный, рельеф не однородный. Почвенный покров представлен легкими суглинками, свежая, сильно каменистая. Увлажнение атмосферное. Старая вырубка (≈60 лет). Редкостойный лиственничник с частичным вывалом деревьев, диаметр деревьев 13-20 см, высота 10-11 см. Подрост Лц не равномерно распространен по участку, от редкого до густого. Подлесок редкий представлен рододендром даурским (5%), березой низкой (25%) по понижениям встречается ива кустарничковая (5%). Живой напочвенный покров не однородный представлен брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* 10 %), багульником (*Ledum palustre* 10%), шикша сибирская (*Empetrum sibiricum* 5%), голубика (*Vaccinium uliginosum* 5%), иван-чай (*Chamaenerion* 1%), осока (1%). В структуре мохово-лишайникового покрова преобладают лишайники (80%) рода *Cladonia*, *Cetraria*. По понижениям встречаются мхи (5-7%).

Larch 13 (63.02 С.Ш., 137.58 В.Д., высота над уровнем моря 465 м). Лиственничник кустарничково-зеленомошный (10Лц). Горно-долинный тип местности, нижняя часть правого склона долины р. Восточная Хандыга. Тип почвы горно-таежные суглинистые сильно каменистые. Увлажнение атмосферное. Лес средней полноты (0.5-0.6), высотой 12-14 см, диаметром 15-20 см. Подрост средней густоты, угнетенный. Подлесок образуют береза низкая (25 %), кедровый стланик (5 %), ива и ольха кустарничковая (10 %), курильский чай (5%), малины (4%) с единичным участием рябины. Живой напочвенный покров развит хорошо, преимущественно состоит из: голубики (*Vaccinium uliginosum* 20%), багульника (*Ledum palustre* 10%), мышиный горошек (4%), чина лесная (5%), вейник (5%). Мохово-лишайниковый ярус состоит преимущественно из зеленых мхов (70%), доминирует аулакомниум вздутый (*Aulacomnium turgidum*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schereberi*), дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*) и др.



Лиственничник кустарничково-зеленомошный

Larch 14 (62.56 С.Ш., 137.19 В.Д., высота над уровнем моря 429 м). Лиственничник голубичный (9Лц1Е+Б). Межгорно-котловинный тип местности. Тип почвы горно-таежный тяжелый суглинок. Увлажнение осадками и подтоком. Средне полнотный лиственничник с единичным участием ели и березы. Диаметр деревьев от 20 до 38 см, высота 13-15 м. Подрост угнетенный представлен Лц, Б, Е. В подлеске встречается

кедровый стланик (40%), шиповник иглистый (5%), береза низкая (10%), красная смородина (ед.), ольха кустарничковая (3%). Травяно-кустарничковый ярус сформирован голубикой (*Vaccinium uliginosum* 80%), багульником (*Ledum palustre* 20%), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* 10%), осокой морошкой (*Rubus chamaemorus* 1%). Покрытие мохово-лишайникового покрова - покрытием 80%. Среди лесных видов мхов преобладает мох этажный - 70% (*Hylocomium proliiferum*). Встречаются лишайники (5%) из родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera*.



Лиственничник голубичный

Larch 15 (62.19 С.Ш., 133.31 В.Д., высота над уровнем моря 245 м). Лиственничник разнотравный (10Лц). Межаластный тип местности. Почвы мерзлотно-таежные суглинистые. Увлажнение осадками и подтоком. Полнота древостоя 0,6. Производительность условий произрастания, соответствует III классу бонитета. Древостой значительно поврежден шелкопрядом. Высота деревьев изменяется от 17 до 22 м, диаметр от 12 до 19 см. Подлесок развит плохо, представлен курильским чаем и шиповником иглистым. Напочвенный покров сильно нарушен выпасом скота, в составе преобладают сорное разнотравье: лисохвост (*Alopecurus* 4%), иван-чай (*Chamaenerion* 5%), грушовка (*Pyrola* 3%), земляника (*Fragaria* 5%), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* 5%), подорожник большой (*Plantago major* 3%), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* 5%) и др.



Лиственничник разнотравный

Larch 16 (62.08 С.Ш., 130.31 В.Д., высота над уровнем моря 206 м). Лиственничник зеленомошно-брусничный (10Лц). Участок расположен вблизи стационара ИБПК (63 км автодорожной трассы Колыма). Тип местности межлассный. Пологий склон мезоповышения Амгино-Ленского пространства. Почвы легкосуглинистые таежно палевые. Степень влажности почв средняя, увлажнение осадками и подтоком. Древостой нарушен выборочными несанкционированными рубками. Сомкнутость древостоя средняя (0.5).. Продуктивность условий произрастания соответствует IV классу бонитета, запас 150-170 м³/га. Высота лиственницы варьирует от 10 до 18 м, диаметр от 12 до 22 см. Подлесок не густой, образован ивами (5%) (*Salix udensis*, *Salix pseudopentandra*) и березой кустарниковой (*Betula fruticosa* 5%). Травяно-кустарничковый покров развит хорошо (90%), в составе преобладает брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 80 %), багульник (*Ledum palustre* 10%), иван-чай (*Chamaenerion* 5%), чина лесная (*Lathyrus sylvestris* 5%), Грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* 3%). Моховой покров развит хорошо (покрытие 80%), встречаются: аулакомниум вздутый (*Aulacomnium turgidum*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*) и др. Встречаются лишайники (5%) из родов *Cladonia*, *Cetraria*.



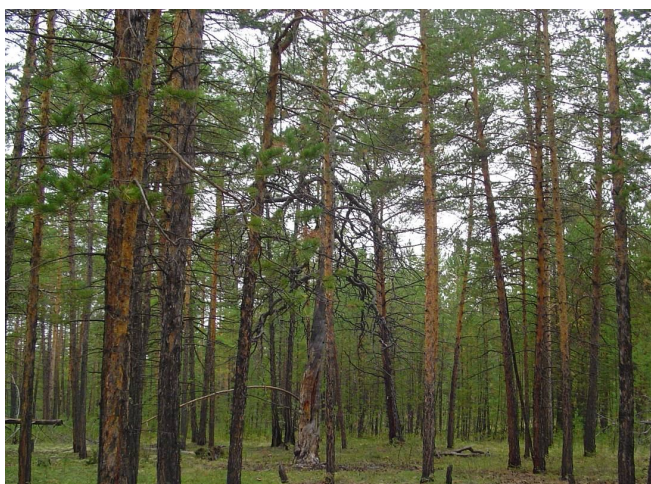
Лиственничник зеленомошно-брусничный

Fir 1 (63.043 С.Ш., 137.955 В.Д., высота над уровнем моря 505 м). Ельник зеленомошный (9Е1Лц). Тип местности горно – долинный, левый склон подножья притока р. Алдан. Тип увлажнения умеренно влажный. Почвы таежные слабоподзоленные суглинисто песчаные каменистые. В древостое ель с примесью лиственницы, полнота 0.5-0.7, бонитет IV, запас 170 м³/га. Подрост представлен елью и лиственницей, с групповым размещением, редкий, удовлетворительный, приурочен к микро- повышениям. В подлеске встречается кедровый стланик, ольховник кустарниковый, можжевельник, шиповник иглистый, таволга средняя. Травяной покров однообразный и небогатый. Не редко встречается брусника (*Vaccinium vitis-idaea* 30%), багульник (*Ledum palustre* 5%), голубика (*Vaccinium uliginosum* 7%). Моховой покров хорошо развит (покрытие 98%), разнообразен по видовому составу с преобладанием зеленых мхов: мох этажчатый (*Hylocomium proliiferum*), плевроциум Шребери (*Pleurozium Schreberi*) и др.

Западная часть центральной Якутии

В рамках реализации проекта РНФ на территории западной части Центральной Якутии был сделан сбор дендрохронологического материала. Сбор материала был проведен вдоль федеральной дороги «виллюй» по трансекту Якутск – Мирнинский район. В общей сложности в районе исследований заложено 10 ключевых участков по лиственнице гмелина и сосне обыкновенной (рис. 1). Общая протяженность трансекта 1200 км. Сборы проводились в июне и в августе 2015 г. Собрано 204 образца. В среднем с каждого участка собрано по 20 образцов деревьев, сделано описание участка согласно требованиям проекта.

Plot pinus – 1 (west). Сосняк брусничный. Тест-полигон заложен в Горном районе (координаты широта 62°14' долгота 127°13'). Собрано 24 образца (керна).



Сосняк брусничный

Larch – 2 (west). Лиственничник бруснично-разнотравный. Тест-полигон заложен в местности Лекечен Горного района (координаты широта 62°53' долгота 124°14'). Собрано 24 образца (керна).



Лиственничник бруснично-разнотравный

Plot pinus – 3 (west). Сосняк мертвопокровно-толокнянковый. Тест-полигон заложен в Вилуйском районе (координаты широта 63°36' долгота 121°14'). Собрано 20 образцов кернов.



Сосняк мертвопокровно-толокнянковый

Plot pinus – 4 (west). Сосняк толокнянковый. Тест-полигон заложен в Верхневилуйском районе (координаты широта 63°35' долгота 121°08'). Собрано 20 образцов кернов.



Сосняк толокнянковый

Larch - 5 (west) Лиственничник с сосной бруснично-моховой. Тест-полигон заложен в Верхневилуйском районе (координаты широта 63°34' долгота 119°42'). Собрано 16 образцов кернов.



Лиственничник с сосной бруснично-моховой

Larch - 6 (west) Лиственничник бруснично-разнотравный. Тест-полигон заложен в Нюрбинском районе (координаты широта 63°19' долгота 118°05'). Собрано 20 образцов кернов.



Лиственничник бруснично-разнотравный

Larch - 7 (west). Лиственничник бруснично-разнотравный. Тест-полигон заложен в местности Сайылык Нюрбинского района (координаты широта 64°16' долгота 118°12'). Собрано 16 образцов кернов.



Лиственничник бруснично-разнотравный

Larch - 8 (west). Лиственничник можжевельниковый бруснично-багульниково-зеленомощный. Тест-полигон заложен около р. Ботомойу Сунтарского района (координаты широта 62°58' долгота 117°53'). Собрано 16 образцов кернов.



Лиственничник можжевельниковый бруснично-багульниково-зеленомощный

Larch - 9 (west) Лиственничник багульниково-брусничный заложен около г. Мирный Мирнинского района (координаты широта 62°30' долгота 113°55'). Собрано 24 образца кернов.



Лиственничник багульниково-брусничный

Larch - 10 (west) Лиственничник багульниково-зеленомощный. Тест-полигон заложен около п. Айхал Мирнинского района (координаты широта 65°55' долгота 115°23'). Собрано 24 образца кернов.



Лиственничник багульниково-зеленомощный

2. Задача глобальной оптимизации на основе информационной платформы VS-GENN с применением эволюционных вычислений и нейросетевой метамодел

Автоматическая параметризация модели роста древесных растений Ваганова-Шашкина (VS-модели) проводится на основании комбинированного подхода, состоящего из трех параллельных процессов:

- 1) Прямая параметризация VS-модели;
- 2) Параметризация при помощи VS-метамодел;
- 3) До-обучение VS-метамодел с целью снижения нормы невязки между моделируемыми кривыми роста, полученными для двух подходов параметризации.

Реализованный комбинированный алгоритм оптимизации (фактически, автоматической параметризации) на основе имитационного моделирования, генетического алгоритма и нейросетевой метамодел имеет особенность, которой выражается в механизме попеременного использования имитационной модели и метамодел в процессе настройки (параметризации) VS-модели с целью получения наиболее адекватных, биологически обоснованных результатов моделирования.

Более того, с помощью нейросетевой VS-метамодел (по сути, многомерной нелинейной регрессии), интегрированной в систему VS-GENN, решена задача оценки (прогнозирования) неизвестных величин прироста (отклика) годичного кольца на основе климатической изменчивости. Точечное моделирование тестировалось при помощи системы VS-GENN с использованием экспериментальных данных, полученных по Енисейско-Ленскому трансекту.

Прямая параметризация VS-модели (оптимизация работы VS-модели по параметрам)

Оптимизация параметров имитационной модели роста древесных растений Ваганова-Шашкина (VS-модели) реализована в виде эволюционного алгоритма оптимизации, примененного к VS-модели как к вещественной функции многих переменных, интегрированного в систему VS-GENN, разработанную в рамках проекта. Использован генетический алгоритм с вещественным кодированием, представляющий гены в виде вещественного вектора, что позволило в 10 раз сократить время прогона алгоритма по сравнению с двоичным кодированием. Также была использована возможность локальной настройки алгоритма для принятия решений.

Посредством VS-модели оцениваются величины отклика древесных растений (индекса прироста) на изменчивость климатических факторов для различных комбинаций значений входящих параметров модели, которые оцениваются алгоритмом оптимизации в системе VS-GENN. Поисковый набор инструкций, реализующий метод оптимизации, использует величину отклика для улучшения решение (т.е. уменьшения нормы невязки между наблюдаемым приростом и его смоделированным аналогом). Таким образом, происходит поиск глобального оптимума целевой функции по параметрам VS-модели.

Отметим что, при оптимизации на базе имитационного моделирования проявляется существенное увеличение длительности цикла расчета модели по сравнению с

единичным временем расчета имитационной модели. Это связано с двумя причинами: 1) с размером популяции эволюционного алгоритма; 2) с количеством эпох, приводящих к многократному вычислению целевой функции имитационной модели (ИМ). Более того, проявляется специфическое препятствие, которое не дает гарантированной конвергентности метода эволюционной оптимизации [Law A.M., Kelton W.D., 2000].

Для ускорения работы прямого алгоритма параметризации (оптимизации по параметрам) создана СУБД проекта DataSet. В работе по конвертации данных в СУБД проекта DataSet использовался пакет Pandas платформы Python. Данный пакет делает Python мощным инструментом для анализа данных. Пакет дает возможность строить сводные таблицы, выполнять группировки, предоставляет удобный доступ к табличным данным, а при использовании пакета matplotlib дает возможность оперативно отображать информацию в виде графиков для полученных наборов данных.

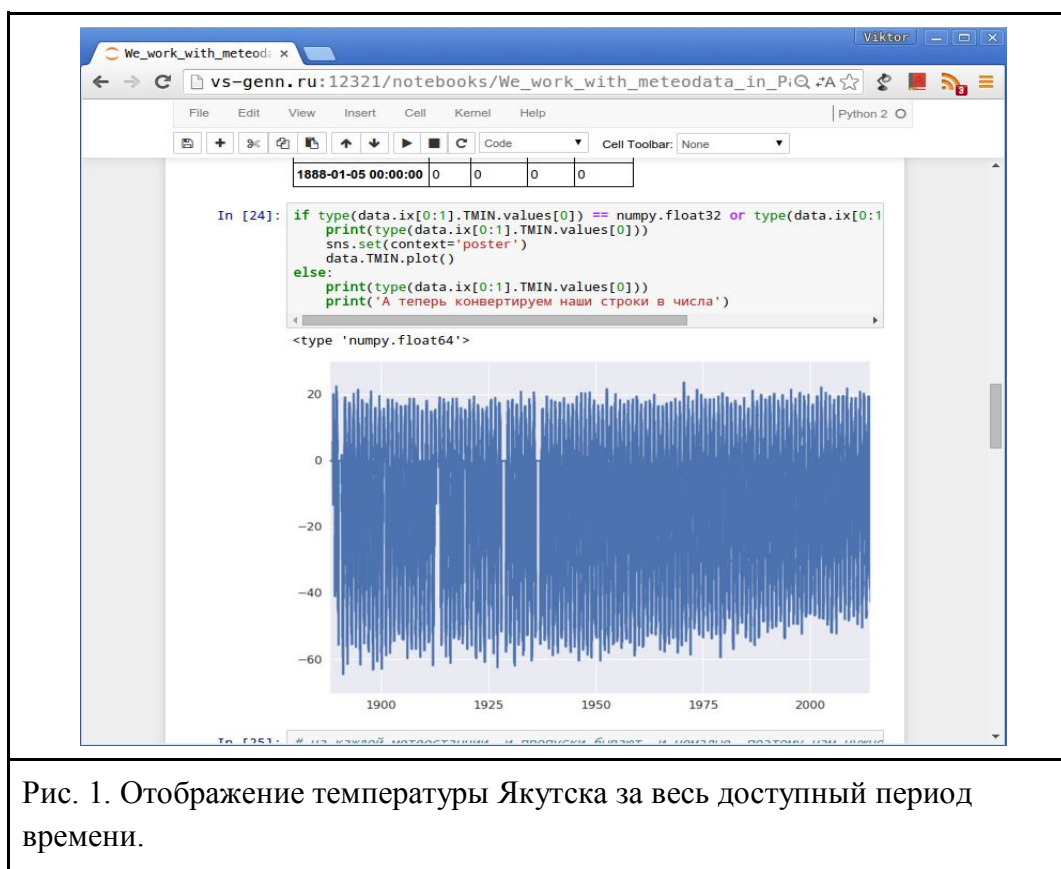


Рис. 1. Отображение температуры Якутска за весь доступный период времени.

VS-модель в качестве входных данных использует климатические данные суточного разрешения (среднюю температуру и количество осадков). Доступные данные метеостанций по температуре и осадкам (Источник данных: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>) конвертированы в разработанную СУБД DataSet, интегрированную в систему VS-GENN (<http://vs-genn.ru/>) при помощи информационных платформ Python pandas и R. Пример формата данных, используемых при работе оптимизационного алгоритма в системе VS-GENN приведен на <http://vs-genn.ru/data/SCH/SCH271.txt> (Рис. 1, 2) Такая конвертация климатических данных в структуры хранения данных Pandas типа Series и DataFrame позволила существенно ускорить процесс моделирования роста древесных растений за счет исключения

процедуры преобразования из цикла многократного повторения «считывания-преобразования» при прогоне имитационной модели.

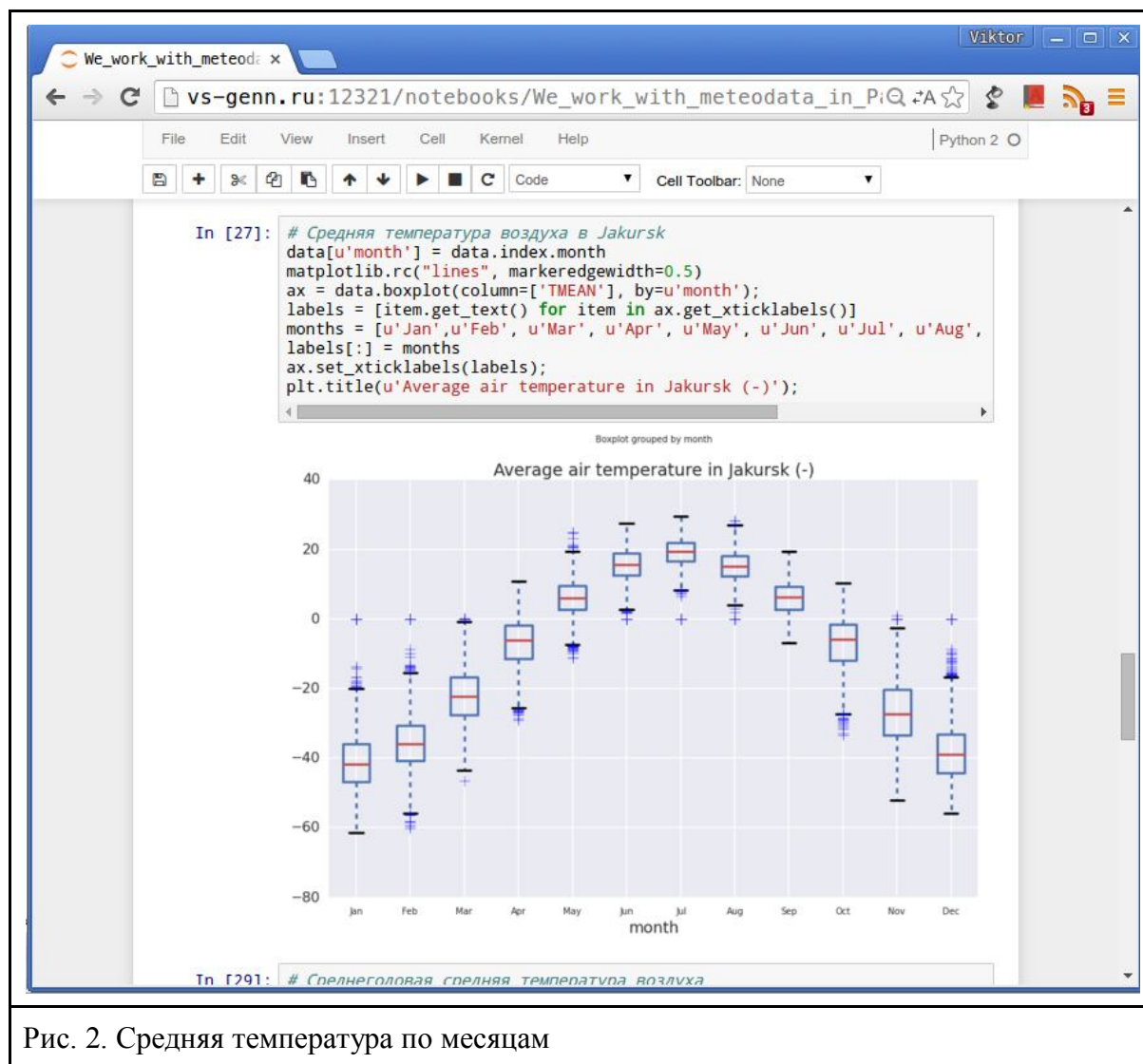


Рис. 2. Средняя температура по месяцам

Кроме климатических данных в базовой версии имитационной модели используется показатель - длина светового дня, рассчитываемая по аналитическим функциям [Vaganov et al. 2006]. Предыдущая реализация имела погрешность в 25 минут для северных широт. Функция была преобразована в модуль с уточнением аналитического выражения [Алмогох, Нонториа. 2004], и на данный момент имеет расхождение в 5 мин (Рис. 3).

Первоначально, базовая версия VS-модели была реализована в среде программирования - Фортран 77 (Vaganov et al., 2006). В рамках реализации проекта VS-модель была разбита на иерархию модулей, что позволило использовать разработанную систему VS-GENN на любой многопроцессорной машине и с любой операционной системой. В этом случае, параметры, используемые для прогона модели, при автоматической параметризации передаются через командную строку. При этом сама имитационная модель была перепрограммирована при помощи среды Фортран 95 (современный Фортран). В качестве интегрированной среды разработки

использовалась система Code::Blocks, которая позволила вести кроссплатформенную разработку на Фортране 95.

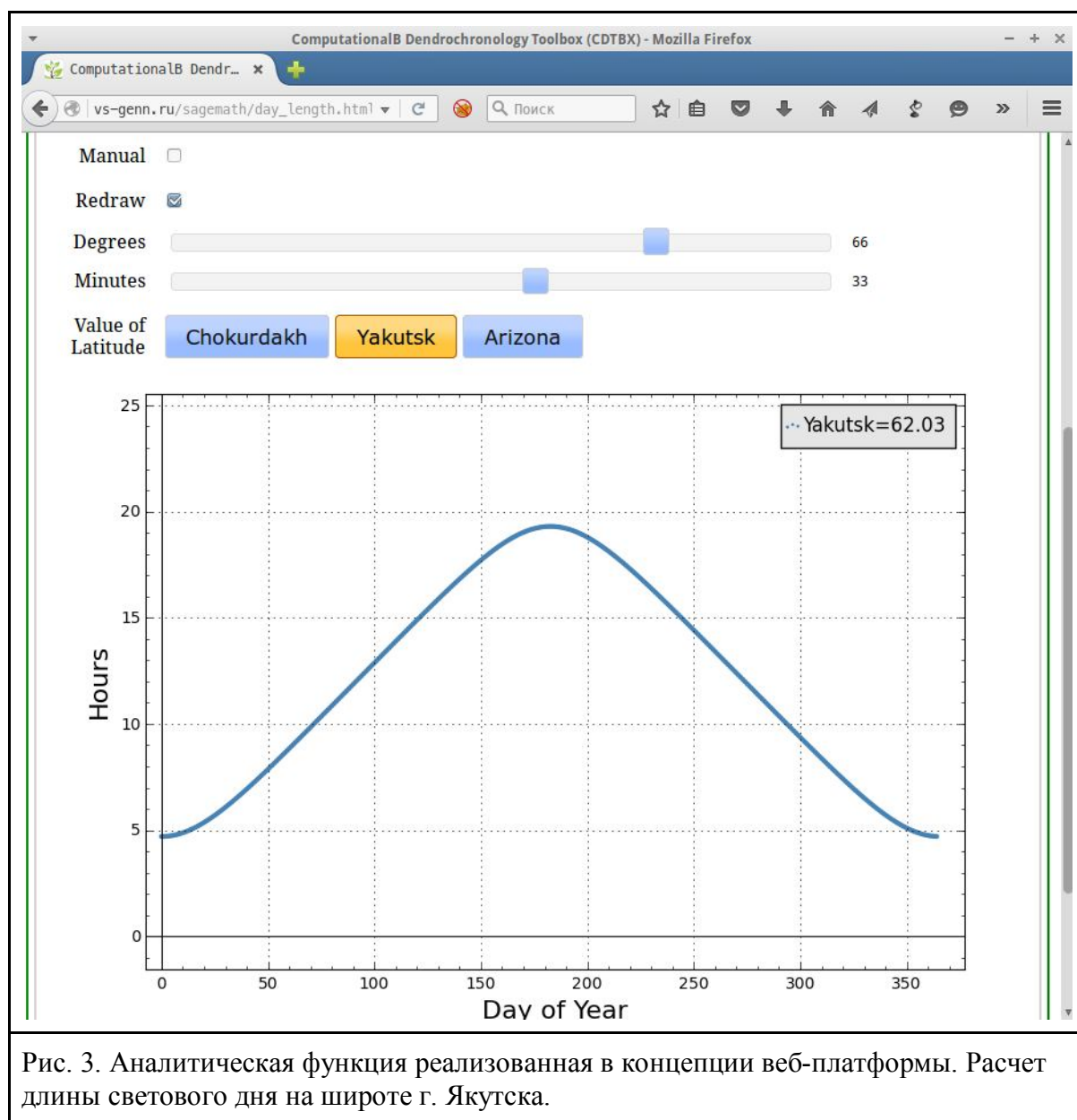


Рис. 3. Аналитическая функция реализованная в концепции веб-платформы. Расчет длины светового дня на широте г. Якутска.

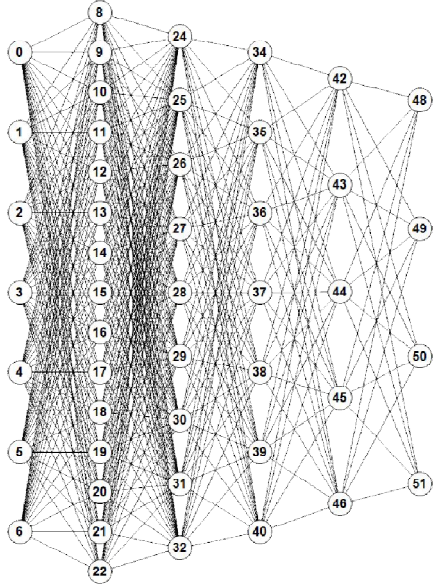
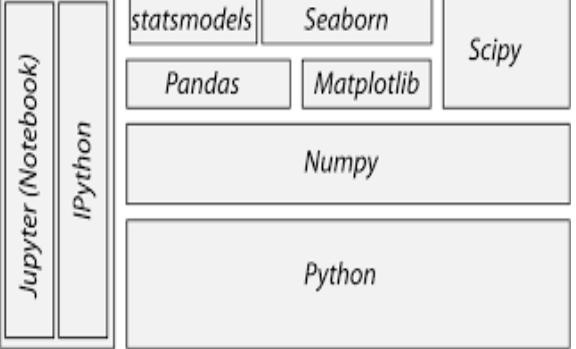
Параметризация при помощи VS-метамоделей и ее до-обучение.

При решении задачи оптимизации (автоматической параметризации) на основе системы VS-GENN возникает необходимость реализации серии запусков VS-модели в одной точке пространства. Это привело к проблеме постановки задачи оптимизации, при которой имитационная модель рассматривается как стохастическая функция, определенная в многомерном пространстве поиска. Всестороннее изучение программных реализаций средств упрощения параметризации VS-модели позволило перейти к методологии постепенной замены модулей основной VS-модели ее аналогом - метамоделью. Под метамоделью в данном случае понимается формальная математическая модель, аппроксимирующая исходную VS-модель с минимальной погрешностью на основе машинных экспериментов. Такая метамоделю позволяет

заменить исходную VS-модель для последующего использования в любой наземной точке Земного шара. Более того, метамодель, являясь полным аналогом (по входным и выходным данным) исходной VS-модели, может напрямую оценивать информативность каждого параметра имитационной модели и существенно сокращать время расчета, которое является критическим показателем при работе с информационной системой VS-GENN в on-line режиме.

Из нескольких возможных подходов для построения формальных математических моделей в проекте была выбрана нейросетевая концепция (VS-метамодель). Данная метамодель имеет хорошую способность аппроксимации сложных зависимостей с возможностью ее прореживания и до-обучения с выделением наиболее информативных связей (решение проблемы снижения размерности многомерной задачи оптимизации). Важным средством обоснования применения искусственных нейронных сетей в проекте служат также результаты о том, что с помощью нейронных сетей можно сколь угодно точно вычислить любую функцию многих переменных [Kreinovich V.Y., 1999]

VS-метамодель реализована через многослойный персептрон на основании библиотеки `gnu ffnet` (Feed-forward neural network for python), которая отличается от аналогов ее возможностями по гибкой перестройки структуры сети в процессе работы (Рис. 4 , 5).

	
Рис. 4. Схема нейросети VS-метамодели	Рис 5. Стек технологий используемый в проекте для построения VS-метамодели.

В качестве эволюционного алгоритма предварительной глобальной оптимизации использована эволюционная стратегия `ffnet` в виде генетического алгоритма `Pikaia`. Для финальной оптимизации с требуемой точностью использован алгоритм обратного распространения ошибки `backpropagation train_tnc`. Такой комбинированный подход позволяет решить следующую проблему. Эволюционный алгоритм находит глобальные точки оптимума с большой погрешностью из-за «скатывания» решений в локальные

оптимумы многомерного пространства. В тоже время, алгоритм обратного распространения ошибки на множестве найденных локальных экстремумов позволяет оценить глобальный оптимум, который и моделирует анализируемый процесс (реакцию древесных растений на климатические изменения) с минимальной погрешностью (Рис.6) [Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., 1986].

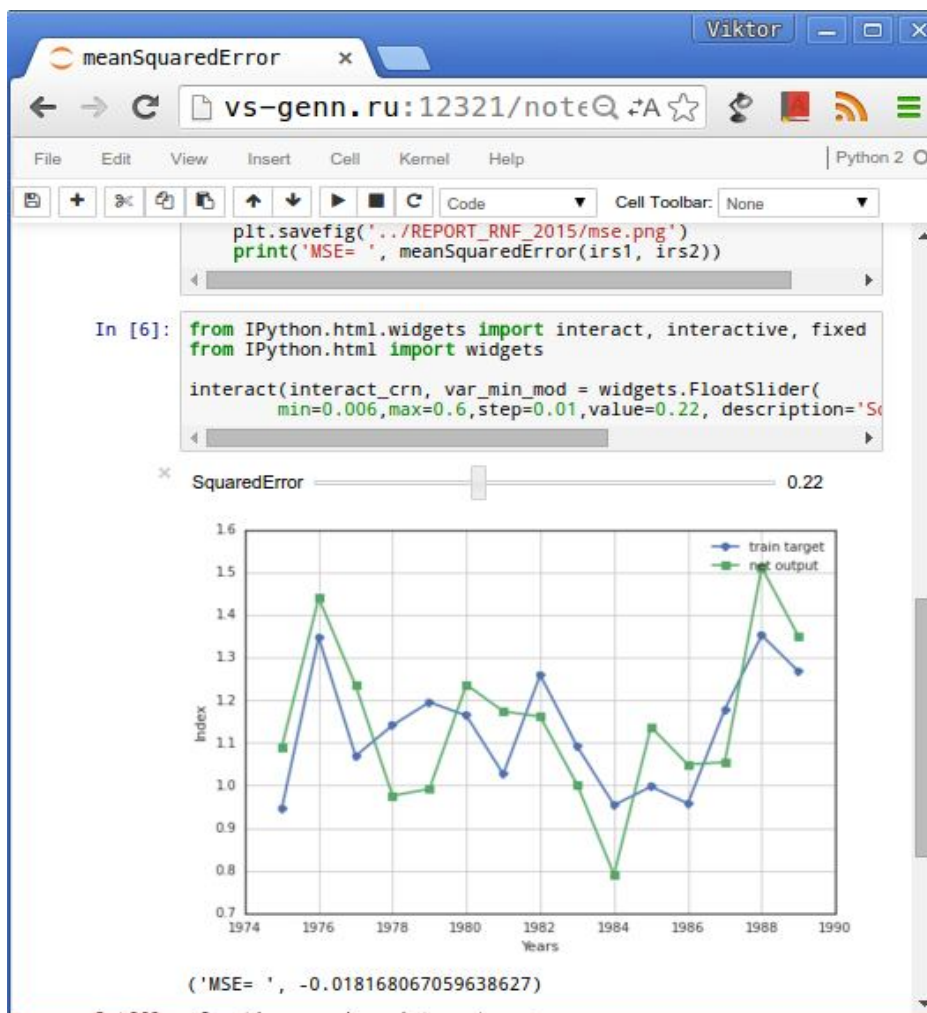


Рис. 6 Пример нахождения глобального оптимума на базе технологии IPython, минимизирующего невязку между исходной древесно-кольцевой хронологией (train_target) и моделируемой кривой роста древесных растений (net_output)

Программная реализация и исследование алгоритмов построения нейросетевой метамодели осуществлялись в информационной среде IPython. IPython - это интерактивная web-оболочка для языка программирования Python, которая предоставляет расширенную интроспекцию, дополнительный командный синтаксис, интерактивные виджеты, а также подсветку и автоматическое дополнение кода.

Настроив нейронную сеть (VS-метамодель), с использованием сравнительного анализа с моделируемыми результатами при прямой параметризации, проводится дополнительная глобальная оптимизация, не уже без привлечения исходной VS-модели к машинному эксперименту, что существенно ускоряет вычислительный процесс.

С помощью нейросетевой VS-метамодел (по сути, многомерной нелинейной регрессии), интегрированной в систему VS-GENN, решена задача оценки (прогнозирования) неизвестных величин прироста (отклика) годичного кольца на основе климатической изменчивости. Точечное моделирование тестировалось при помощи системы VS-GENN с использованием экспериментальных данных, полученных по Енисейско-Ленскому трансекту.

Отмечено, что моделируемый отклик древесных растений, полученной на основе VS-метамодел, идентифицируют исходный процесс с погрешностью, но являются очень хорошим приближением этого процесса, что позволяет 45-80% изменчивости пространственно-распределенного прироста древесных растений на основе стохастического климатического сигнала по реперным точкам трансекта. Данные результаты полностью сопоставимы с результатами, полученными при прямой параметризации

3. Усовершенствование блоков расчета влажности почвы и камбиальной активности в VS-модели на основе новых подходов, разработанных авторским коллективом проекта.

Основной принцип работы VS-модели заключен в оценке ежедневного прироста древесных растений на основе суточных климатических данных (температуры и осадков), которые трансформируются в парциальные (частные) скорости роста в зависимости от температуры и влажности почвы [Ваганов и др., 2000]. Основной проблемой в определении парциальной скорости роста от влажности почвы является корректное вычисление сезонной динамики влажности почвы на основе дневной температуры и суточного количества осадков. В отличие от частной скорости роста от температуры, которая вычисляется напрямую от значений средней суточной температуры, скорость от влажности почвы нелинейно связана с суточной динамикой осадков.

Водный баланс почвы в алгоритме VS-модели задается следующим балансовым дифференциальным уравнением: [Thorntwaite and Mather, 1955; Алисов, 1969]:

$$W(t) = W(t - 1) + f(P) - E - q ,$$

где $W(t)$ - влажность почвы в момент времени t (t -день), $f(P)$ – суточное количество осадков, попавших в почву, E - транспирация, q - дренаж воды в почве.

Не весь объем осадков, измеренных на климатической станции, попадает в почву. Некоторая часть осадков задерживается кроной деревьев, некоторая часть теряется в стоке вод с поверхности [Протопопов, 1975]. Для определения доли осадков попавших в почву от всего объема осадков используется следующее линейное соотношение:

$$f(P) = \begin{cases} P(t) \cdot C_1, & \text{if } P(t) \cdot C_1 > P_{\max} \\ P_{\max}, & \text{if } P(t) \cdot C_1 < P_{\max} \end{cases} ,$$

где $P(t)$ - количество осадков выпавших в t -день, C_1 - доля осадков достигших почвы, $P_{\max}$ - предельное суточное количество воды, поступающей в почву [Протопопов, 1975; Gash, 1979].

Значения C_1 , $P_{\max}$ - постоянны и зависят от породы дерева и его местоположения.

Дренаж воды из корнеобитаемого слоя почвы пропорционален содержанию в нем влаги, т.е. $q = K_d \cdot W(t)$, где K_d - коэффициент дренажа.

Транспирация воды кроной дерева является результатом разницы концентрации воды между хвоей(кроной) и в окружающем ее воздухе, и описывается уравнением диффузии:

$$E = C_2 \cdot Gr(t) \cdot \exp(C_3 \cdot T(t)),$$

где C_2, C_3 - постоянные коэффициенты.

Такое отношение представлено экспонентой в соответствии с нелинейным увеличением дефицита воды в воздухе с увеличением температуры. Пропорциональное отношение между транспирацией и скоростью роста указывает, что в случае условия лимитирования температурой или нехваткой влажности, увеличивается способность сопротивления диффузии (уменьшается способность к диффузии) воды из хвои в атмосферу. Также такое отношение подтверждается с точки зрения физиологии, известно, что транспирация тесно связана со скоростью роста дерева (большие размеры кроны, высокая скорость роста, и т.д.) [Larcher, 1980].

Такой расчет водного баланса почвы (влажности почвы) в базовой версии модели в некоторых случаях приводит к существенным расхождениям моделируемых результатов с экспериментально-наблюдаемыми данными.

В проекте была предложена другой подход к описанию влажности почвы на основе модели - Leaky bucket model [Huang et al. 1996].

Как и в базовом алгоритме, новая модель «Leaky bucket» оценивает водную транспирацию, дренаж и объем грунтовых вод. Но при этом используются эмпирические функции, полученные для обширных регионов США (Tolwinski-Ward et al., 2011).

Влажность почвы рассчитывается на основе водного баланса в почве следующим уравнением:

$$\frac{dW(t)}{dt} = P(t) - E(t) - R(t) - G(t), \text{ где}$$

$W(t)$ - влажность почвы в момент времени t (t-день);

$P(t)$ - количество выпавших осадков;

$E(t)$ - значение транспирации в момент времени t (t-день);

$R(t)$ - объем дренажных вод в момент времени t (t-день);

$G(t)$ - потеря грунтовых вод (через инфильтрацию) в момент времени t (t-день).

Объем дренажных вод $R(t)$ рассчитывается на основе значений поверхностного дренажа $S(t)$ и подземного водотока $B(t)$:

$$R(t) = S(t) + B(t).$$

В свою очередь дренаж и межень (baseflow) выражается следующим образом:

$$S(t) = P(t) \times \left(\frac{W(t)}{W_{\max}} \right)^m, \quad B(t) = \frac{\alpha}{1 + \mu} W(t),$$

где $W_{\max}$ – максимальная влажность для насыщения грунта (мм), m - параметр (>1), α - обратная величина времени до достижения наименьшего уровня вод (межени), μ - объем подземных вод, которые уменьшаются до достижения наименьшего уровня (межени).

Оставшееся количество осадков уходит в виде не учтенных подземных вод:

$$G(t) = \frac{\mu\alpha}{1 + \mu} W(t).$$

Транспирация $E(t)$ рассчитывается следующим образом:

$$E(t) = E_p \frac{W}{W_{\max}},$$

где E_p - потенциальная скорость транспирации (мм в единицу времени). Значение транспирации в основном зависит от температуры воздуха, однако следует учитывать, что измерения и расчеты температуры могут быть неадекватны для территорий с большими площадями и для длительных периодов исследования.

E_p может быть найдена следующим образом:

$$E_p = \begin{cases} 0, T < 0^\circ C \\ 16L \times \left(\frac{10T}{I} \right)^a, 0 \leq T < 26.5^\circ C \\ -415.85 + 32.25T - 0.43T^2, T \geq 26.5^\circ C \end{cases},$$

где $L = \frac{d \cdot h}{30 \cdot 12},$

$$I = \sum_{M=1}^{12} i, \quad i = \left(\frac{T_M}{5} \right)^{1.514},$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7} I^3) - (7.71 \times 10^{-5} I^2) + (1.79 \times 10^{-2} I) + 0.49,$$

где d - номер дня в месяце, h – средняя продолжительность солнечного дня в месяце, T - среднемесячная температура воздуха для каждого месяца.

Эффективность применения этой модели расчета влажности почвы была показана в алгоритме VS-Lite для ежемесячных значений осадков [Tolwinski-Ward et al., 2011].

Данный алгоритм реализован как модуль в среде программирования LazurGIS, который может быть легко интегрирован в VS-осциллограф.

В настоящий момент идет тестирования данного модуля на данных прямых экспериментальных наблюдений по влажности почвы, полученных для научного стационара «Тура» (с. Тура, Красноярский край, Россия).

4. Расчет и верификация динамики радиального прироста древесных растений по VS-модели, описывающей климатически обусловленные вариации радиального прироста.

5. Моделирование и верификация сезонной клеточной продукции древесных растений вдоль Енисейско-Ленского трансекта.

6. Информационное и функциональное наполнение разработанной web-платформы проекта.

Развитие web-ориентированной интерактивной вычислительной платформы — это одна из основных целей проекта (<http://vs-genn.ru>).

Все разработанные в 2015 г. алгоритмические приложения размещены в интернет по адресу <http://vs-genn.ru:12321> при помощи сервиса ipython -notebook на собственном сервере в дата-центре СФУ с доступом через авторизацию по паролю (Рис. 7). Ячейки интерактивного веб-блокнота содержат код, формулы latex, интерактивные виджеты (Рис. 8). При этом сессии при закрытии браузера не останавливаются и расчеты выполняются на сервере платформы в фоновом режиме. Виртуальная машина VMware для веб-платформы предоставляет возможность кластеризации расчетной задачи для оптимизации VS-модели.



Рис.7. Страница входа в веб-приложение

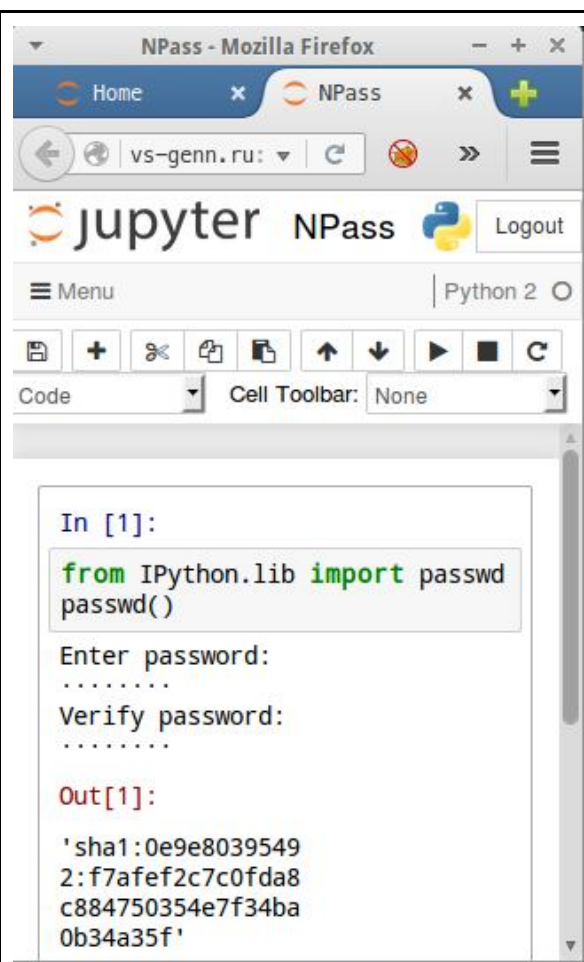


Рис.8. Интерактивная ячейка

Серверной ОС выступает GNU/Linux Ubuntu server 14.04 LTS, для которого все используемые компоненты web-приложения будут совместимы по версиям в течении пяти ближайших лет. Это позволит проектной рабочей группе устанавливать выпускаемые обновления компонент, не нарушая работоспособность web-платформы <http://vs-genn.ru/>.

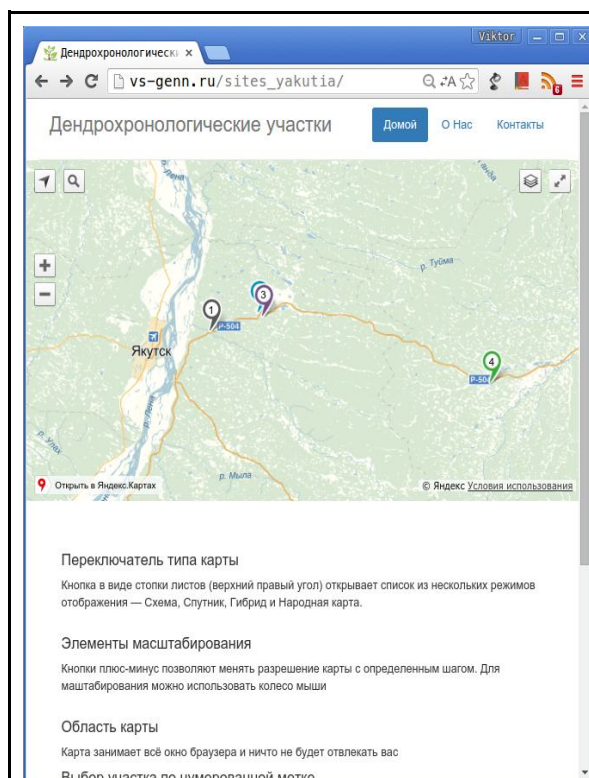


Рис. 10. Страница выбора галереи по нанесенным координатам



Рис. 11. Фото-галерея конкретной точки на карте

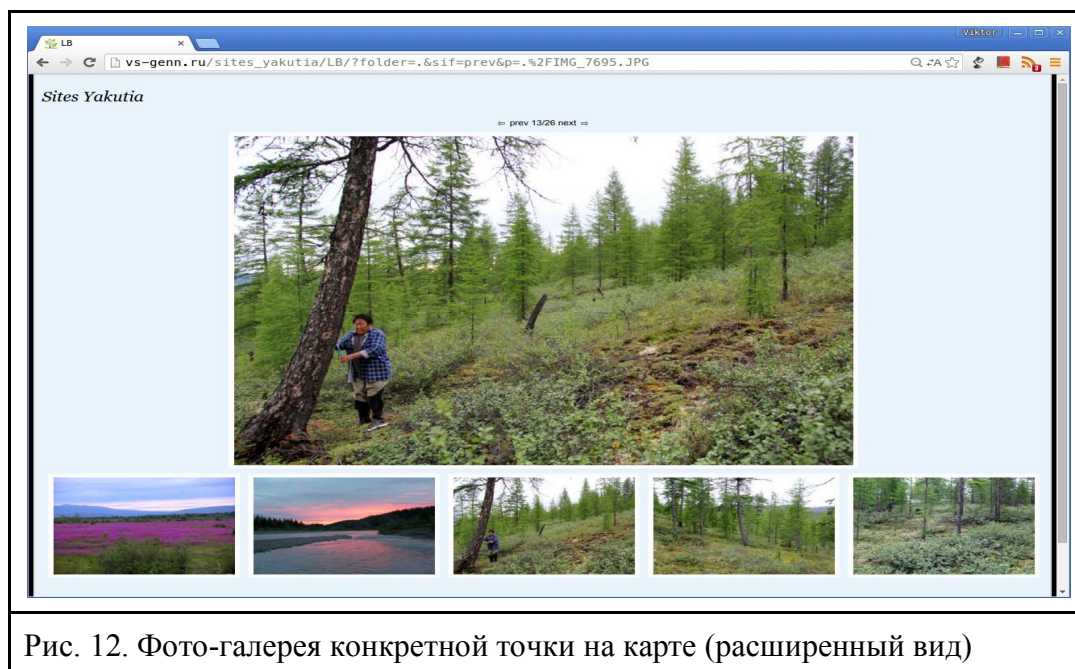


Рис. 12. Фото-галерея конкретной точки на карте (расширенный вид)

Опубликовано 3 статей в изданиях, индексируемых в системе Web of Science и 3 статей в системе РИНЦ, 1 монографии.

Научные результаты за 2015 год.

1. Новые пространственно-распределенные древесно-кольцевые хронологии, стандартизированные клеточные хронологии.

Получено 18 новых древесно-кольцевых хронологий по четырем видам древесных растений: сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*), лиственницы Гмелина (*Larix gmelini*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), лиственница Каяндара (*Larix cajanderi*) для региона исследований (Рис. 1).

2. Анализ результатов по имитационному моделированию камбиальной активности хвойных, по новым данным с Енисейско-Ленского трансекта. Сравнение полученных результатов с результатами полуавтоматической параметризации VS-осциллограф.

3. Анализ моделируемой и наблюдаемой клеточной продукции древесных растений. Разделение климатически обусловленной составляющей от других локальных воздействий (например, пожаров), зафиксированных в годичных клеточных профилях древесных растений.

4. Публикация 3 статей в изданиях, индексируемых в системе Web of Science и 3 статей в системе РИНЦ, 1 монографии.