

УДК 630\*181.351

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.1.89

**НАКВАСИНА Елена Николаевна**

*Лесотехнический институт*

*Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова*

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: nakvasina@yandex.ru,  
e.nakvasina@narfu.ru

**ЮДИНА Ольга Альбертовна**

*Лесотехнический институт*

*Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова*

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: olga23121972@yandex.ru,  
o.yudina@narfu.ru

**ПОКАТИЛО Александр Витальевич**

*Архангельский филиал ФГБУ «Рослесинфорг»*

адрес: 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13; e-mail: solomon\_gtr@mail.ru

## **РОСТОВАЯ И РЕПРОДУКТИВНАЯ РЕАКЦИИ *PICEA ABIES* (L.) KARST. X *P. OBOVATA* LEDEB. ПРИ ИМИТАЦИИ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

В статье показаны возможности использования географических культур для оценки реакции ели на ожидаемые климатические изменения. Исследования проводились на объекте испытания климатипов, входящем в государственную сеть географических культур и расположенном в Архангельской области (Плесецкое лесничество). Подобраны три климатипа ели, материнские насаждения которых расположены севернее плесецкого пункта испытания: Мончегорское лесничество (Мурманская область), Пинежское и Холмогорское лесничества (Архангельская область). Это позволило проследить особенности изменения их роста и репродукционных особенностей при имитации потепления в 37-летних географических культурах. Рост потомства в плесецком пункте испытания сравнивали с ростом лесных культур близкого возраста (Архангельская область) и естественных насаждений (Мурманская область) на родине исходных насаждений. Для сравнения насаждений разного возраста использовали показатели среднего годового прироста по высоте и диаметру. При имитации потепления климата ель, произрастающая в условиях средней подзоны тайги, увеличивает прирост по диаметру и высоте, а также улучшает качество семенного потомства (масса и всхожесть семян). Наибольшей отзывчивостью ростом на потепление обладает ель, представленная интрогрессивными гибридами ели сибирской и европейской из Архангельской области. Чем севернее место произрастания ели, тем она менее отзывчива на улучшение климатических факторов. Ель, произрастающая в Мурманской области, даже при наступлении ожидаемого потепления климата не достигнет производительности еловых насаждений, произрастающих в Архангельской области. Однако можно ожидать заметного повышения качества семян, а следовательно, и естественного возобновления под пологом насаждений.

**Ключевые слова:** ель, климатипы, потепление климата, географические культуры.

Географические опыты являются одним из перспективных подходов к изучению реакции древесных пород на изменение условий их произрастания. В период с 1976-го по 1978 год в СССР была создана сеть географических культур, один из объектов которой расположен в Архангельской области (Плесецкое лесничество).

Роль географических культур в настоящее время значительно шире, чем подбор климатических типов для использования их семенного материала в лесовосстановлении в определенном регионе и изучения вопроса дальности переброски семян. Большое значение они имеют для современных генетико-экологических исследований. В частности, географические культуры позволяют получить исторические справки по таксономии и эволюции вида, данные о генетических изменениях и генной миграции. Особый интерес они представляют как, пожалуй, единственная в своем роде модель для прогнозирования влияния последствий изменения климата на продуктивность и выживаемость вида [1]. В культурах выращиваются потомства климатических типов древесных пород, материнские популяции которых произрастают севернее и южнее пункта испытания. Таким образом создается природная имитация потепления (перенос к югу) и похолодания (перенос к северу), что позволяет проследить реакцию растений на климатические изменения, определяемые дальностью перемещения потомств от материнских насаждений [2]. Подобные исследования по изучению нормы реакции вида на изменение климата по росту [3] и репродукции [4] были проведены нами в географических культурах сосны обыкновенной. Цель настоящей работы – проследить ответную реакцию ели – *Picea abies* (L.) Karst. x *P. obovata* Ledeb. – ростом и репродукцией на ожидаемое потепление климата.

**Материалы и методы.** Для изучения влияния изменения климатических характеристик на линейный и радиальный рост и репродуктивные особенности (качество семян) в географических культурах Плесецкого лесничества Архангельской области были подобраны 3 климатических типа ели, материнские насаждения которых расположены на 1–5° севернее плесецкого пункта испытания: в Мурманской области, Мончегорском лесхозе/лесничестве (№ 1); Архангельской области, Пинежском (№ 20) и Холмогорском (№ 23) лесхозах/лесничествах. Характеристика мест произрастания исходных насаждений в сравнении с пунктом испытания приведена в табл. 1. С продвижением на север ухудшается рост ели в связи с изменением климатических условий (в т. ч. продолжительности вегетационного периода и суммы эффективных температур), что сказывается в снижении продуктивности лесов.

При анализе использованы данные по росту, полученные при изучении 37-летних географических культур. Замерены диаметры на высоте груди не менее 100 растений каждого климатического типа. Для определения высоты измеряли диаметры и высоты не менее 25 деревьев разных ступеней толщины, строили график высот. Семена заготавливали в 2000 и 2012 годах. Качество семян определяли по ГОСТ 13056.6-97<sup>1</sup>.

Рост потомства в плесецком пункте испытания сравнивали с ростом лесных культур близкого возраста (Архангельская область, данные Рослесинфорг) и естественных насаждений (Мурманская область, по [5]) на родине исходных насаждений. Для сравнения данных насаждений разного возраста использовали показатели среднего годового прироста по высоте и диаметру.

**Результаты и обсуждение.** На интенсивность линейного и радиального прироста

<sup>1</sup>ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Введ. 1998-07-01. М., 1998. 28 с.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТА ПРОИСХОЖДЕНИЯ И РОСТА КЛИМАТИПОВ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ  
( $t_{0,05} = 1,98$ )

№ климатипа	Происхождение климатипа	Координаты по с. ш.	Отклонение от пункта испытания	Характеристика климатипов ели в 37-летних культурах				Прирост в расчете на 1° с. ш.**	
				Приживаемость (сохранность)*, %	Диаметр, см	$t_{st}^{***}$	Высота, м	По высоте, м	По диаметру, см
1	Мурманская область, Мончегорский лесхоз	67°51'	4°57'	64,3	6,8±0,29	2,70	7,2	0,018	0,013
20	Архангельская область, Пинежский лесхоз	64°45'	1°51'	81,3	8,9±0,38	0,42	9,4	0,05	0,04
23	Архангельская область, Холмогорский лесхоз	64°14'	1°20'	68,4	10,1±0,40	2,05	11,4	0,11	0,09
19	Архангельская область, Плесецкий лесхоз (место испытания)	62°54'	—	78,4	8,6±0,36	—	8,7	—	—

Примечание: \* – по ГОСТ 17559-82<sup>2</sup>; \*\* – при испытании в Архангельской области относительно дальности перемещения от места происхождения потомства (в град. с. ш.); \*\*\* – относительно местного происхождения. Названия мест происхождения климатипов даны по реестру государственных географических культур, с сохранением старого наименования «лесхоз», соответствующего времени закладки эксперимента.

вливают различия в климатических характеристиках места, где сформировался климатип, и места его произрастания (пункт испытания), при этом меняется присущая потомствам скорость роста (среднегодовой прирост). На рис. 1 (см. с. 92) представлены зависимости между географическим положением и климатическими характери-

ками места испытания потомств и родины исходных популяций. Чем дальше удалены исходные насаждения ели от пункта испытания, тем больше различия в сумме эффективных температур и в длине вегетационного периода (данные об этих показателях места происхождения взяты из [6]). Улучшение климатических характеристик в месте

<sup>2</sup>ГОСТ 17559-82. Лесные культуры. Термины и определения. Введ. 1983-07-01. М., 1982.

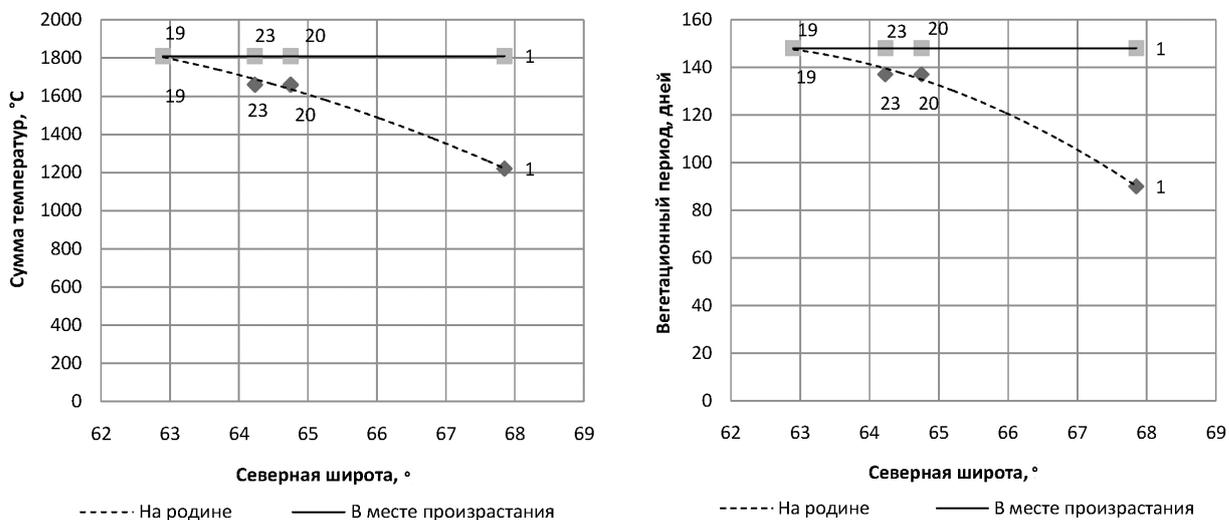


Рис. 1. Климатические показатели родины климатипов ели и места их произрастания: цифрами обозначены номера климатипов

испытания потомства (Плесецкий район Архангельской области) имитирует потепление климата, в первую очередь благодаря увеличению суммы температур и длины периода вегетации.

При улучшении климатических условий (потеплении климата) ель очевидно усиливает прирост по высоте и диаметру (рис. 2). У климатипов из Архангельской области, представленных интрогрессивными гибридами

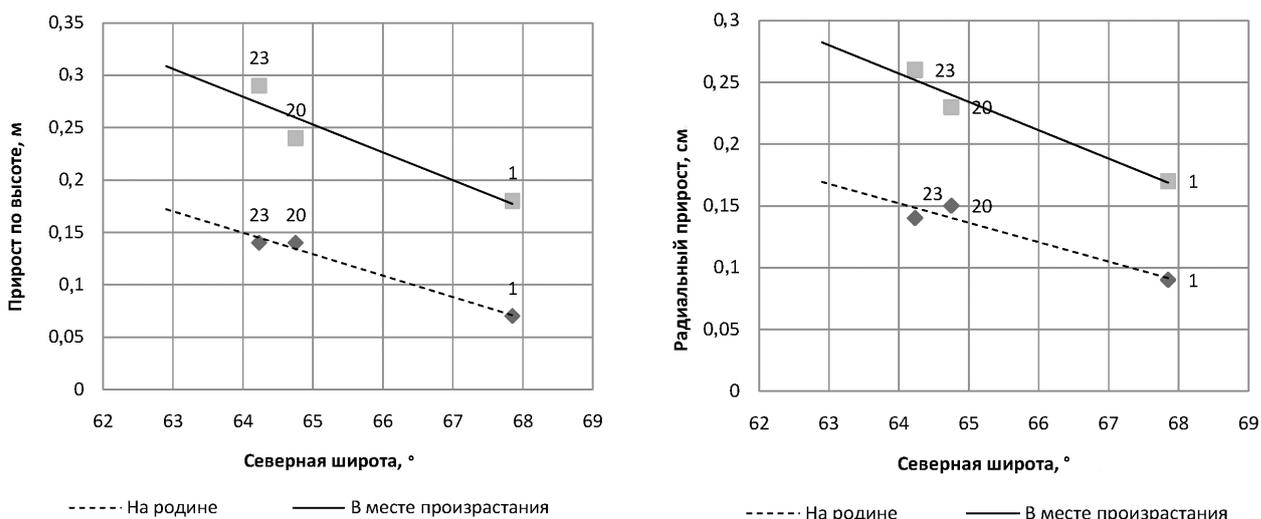


Рис. 2. Среднегодовой прирост у климатипов ели: цифрами обозначены номера климатипов

ели сибирской и ели европейской, при выращивании их потомства на 1-2° южнее происходит увеличение среднегодового прироста по высоте в 2 раза, по диаметру – в 1,5 раза. Потомство мурманского климатипа (ель сибирская) в силу своих наследственных особенностей, сформированных в суровых климатических условиях, увеличивает интенсивность радиального прироста в 2 раза, а линейного – почти в 3 раза, однако не достигает показателей среднегодового прироста елей из Архангельской области.

Рассчитали показатели увеличения прироста при имитации смещения потомства на 1° к югу. Характер отзывчивости при имитации потепления, аналогичного перемещению на 1° по широте к югу, зависит от генетических и наследственных особенностей ели обыкновенной. Так, климатип из Мурманской области увеличивает свой прирост по высоте и по диаметру в среднем на 0,018 м и 0,013 см соответственно. Пинежский климатип, расположенный на 2° к северу от пункта испытания потомства, – на 0,05 м и 0,04 см соответственно. Наибольшая отзывчивость отмечена у самого близкого к пункту испытания климатипа – 0,11 м и 0,09 см. То есть чем севернее расположена родина климатипа ели, тем более закреплены наследственно темпы его роста и ниже отзывчивость на потепление. Возможно, это связано с видовой принадлежностью ели и путями ее миграции на европейскую часть России в голоцене: с востока и с запада [7]. Популяции ели в Архангельской области более подвержены процессам интрогрессивной гибридизации ели сибирской и ели европейской, что могло наложить свой отпечаток на отзывчивость климатипов на изменение климатических характеристик при имитации потепления. Е.Л. Зенковой было выявлено, что популяции ели из Пинежского района Архангельской области, произрастающие на северной границе зоны интрогрессивной гибридизации, по фенотипу включают до 10 %

«гибридной ели с признаками сибирской» [8, с. 138].

Оценку репродуктивной реакции потомства ели обыкновенной при имитации потепления климата проводили, сравнивая массы 1000 шт. полнозернистых семян, что позволяет оценить уровень энергетического содержания [9]. Согласно литературным данным, масса 1000 шт. семян на родине северотаежных популяций ели значительно колеблется по годам репродукции – от 3,1 г до 5,1 г, при этом всхожесть составляет 32–89 % [10, 11]. Семена этих популяций, использованные при создании географических культур, имели массу 4,7–5,2 г, которая незначительно отличается от показателя среднетаежной популяции места испытания потомства (Плесецкий район Архангельской области). Аналогичные данные получены Контрольно-семенной станцией Центра лесозащиты Архангельской области при определении качества семян производственных сборов 2013 года (табл. 2, см. с. 94).

При выращивании потомства северотаежной ели в подзоне средней тайги (62°54' с. ш.) увеличивается как масса, так и всхожесть продуцируемых семян. При этом северотаежная ель в один год репродукции дает семена более высокого качества по сравнению с местной среднетаежной популяцией. Заметно значительное увеличение массы 1000 шт. семян по сравнению с массой семян исходных насаждений у мурманского потомства ели (22–32 %), условия произрастания которого имеют наибольшие отличия от условий формирования исходных насаждений (дальность перемещения к югу – 5° с. ш.). Пинежский климатип, произрастающий на 2° севернее места испытания, увеличил массу семян на 20 %, а самый близкий к месту испытания, холмогорский, – на 10 %.

Принимая во внимание литературные данные, приведенные выше, можно говорить о заметном повышении качества семян при ожидаемом потеплении климата. Репродук-

Таблица 2

КАЧЕСТВО СЕМЯН ЕЛИ В МЕСТАХ ПРОИЗРАСТАНИЯ МАТЕРИНСКИХ НАСАЖДЕНИЙ  
И В ПУНКТЕ ИСПЫТАНИЯ ПОТОМСТВА

№ климатического типа	Происхождение климатического типа	Данные авторов		Масса 1000 шт. по паспорту географических культур (1973), г	Масса 1000 шт. по данным лесосеменной станции (2013), г
		Масса 1000 шт., г	Абсолютная всхожесть, %		
1	Мурманская область, Мончегорский лесхоз	$\frac{6,21^*}{5,20}$	$\frac{89,5}{90,3}$	4,67	–
20	Архангельская область, Пинежский лесхоз	$\frac{6,02}{6,10}$	$\frac{97,5}{74,3}$	4,81	4,47–4,93
23	Архангельская область, Холмогорский лесхоз	$\frac{5,77}{5,80}$	$\frac{95,5}{82,2}$	5,20	4,7
19 (контроль)	Архангельская область, Плесецкий лесхоз (место испытания)	$\frac{5,54}{6,70}$	$\frac{77,5}{55,3}$	4,80	5,35

Примечание: \* – в числителе – репродукция 2012 года, в знаменателе – 2000 года.

тивная реакция потомства северотаежной ели (масса и всхожесть семян) на потепление будет выражена более заметно, чем отзывчивость линейным ростом. Подобная закономерность была отмечена нами для сосны обыкновенной [4].

**Закключение.** Таким образом, северотаежная ель реагирует на потепление климата увеличением прироста по диаметру и по высоте, а также повышением качества семян (массы и всхожести) вследствие улучшения условий их формирования. Наиболее заметно реагирует

ростом ель, представленная интрогрессивными гибридами ели сибирской и европейской из Архангельской области. Самый северный представитель вида, ель сибирская из Мурманской области, в силу наследственных особенностей реагирует ростом медленнее, и даже при наступлении ожидаемого значительного потепления не достигает параметров прироста среднетаежной ели. Но в то же время ожидаемое потепление климата заметно сказывается на повышении качества семян, что вызовет увеличение самосева в северотаежных лесах.

### Список литературы

1. *Matyas C.* Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances // *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress (6–12 August 1995).* Tampere, 1995. P. 250.
2. *Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С.* Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере: моногр. Архангельск, 2008. 307 с.
3. *Наквасина Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений // *Вестн. Помор. ун-та.* 2003. № 2(4). С. 48–53.

4. Наквасина Е.Н. Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2014. Вып. 209. С. 114–125.
5. Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск, 1998. 332 с.
6. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.; Л., 1982. 368 с.
7. Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. М., 2005. 231 с.
8. Зенкова Е.Л. Формовая структура ели сибирской в районах затухающего генетического влияния ели европейской // Аграрная Россия. 2009. Спец. вып.: Материалы международной конференции «Актуальные проблемы дендрологии и адаптации растений», посвященной 80-летию со дня рождения профессора Юрия Захаровича Кулагина. С. 137–138.
9. Иваск М.М. Изменчивость энергосодержания семян ели европейской // Лесоведение. 1988. № 2. С. 83–85.
10. Казимиров Н.И. Ель. М., 1983. 80 с.
11. Шашкова Е.В. Посевные качества семян хвойных пород в условиях кольских лесов // Аграрная Россия. 2009. Спец. вып.: Материалы международной конференции «Актуальные проблемы дендрологии и адаптации растений», посвященной 80-летию со дня рождения профессора Юрия Захаровича Кулагина. С. 48–49.

## References

1. Matyas C. Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress (6–12 August 1995)*. Tampere, Finland, 1995, p. 250.
2. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskie kul'tury v gen-ekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Provenance Trials in the Gene-Ecological Studies in the European North]. Arkhangelsk, 2008.
3. Nakvasina E.N. Geograficheskie kul'tury sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) kak prirodnyaya model' imitatsii klimaticheskikh izmeneniy [Provenance Trials of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) as a Natural Model of Climate Change Simulation]. *Vestnik Pomorskogo universiteta*, 2003, no. 2(4), pp. 48–53.
4. Nakvasina E.N. Izmeneniya v generativnoy sfere sosny obyknovnoy pri imitatsii potepleniya klimata [Changes in the Reproduction of Scots Pine in Climate Warming Simulation]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2014, no. 209, pp. 114–125.
5. Semenov B.A., Tsvetkov V.F., Chibisov G.A., Elizarov F.P. *Pritundrovye lesa evropeyskoy chasti Rossii (priroda i vedenie khozyaystva)* [Subtundra Forests of the European Part of Russia (the Nature and Forest Management)]. Arkhangelsk, 1998. 332 p.
6. *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Seed Zoning of the Main Forest-Forming Species in the USSR]. Moscow; Leningrad, 1982. 368 p.
7. Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya: struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh system* [Fir Spruce and Siberian Spruce: the Structure, Integration and Differentiation of the Population Systems]. Moscow, 2005. 231 p.
8. Zenkova E.L. Formovaya struktura eli sibirskoy v rayonakh zatukhayushchego geneticheskogo vliyaniya eli evropeyskoy [Shaped Structure of Siberian Spruce in the Areas of Fading Genetic Impact of Fir Spruce]. *Agrarnaya Rossiya. 2009. Spets. vyp.: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nye problemy dendrologii i adaptatsii rasteniy", posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Yuriya Zakharovicha Kulagina* [Agrarian Russia. 2009. Proc. Int. Conf. "Actual Problems of Dendrology and Plant Adaptation", Dedicated to the 80th Anniversary of Professor Yuri Zakharovich Kulagin], pp. 137–138.
9. Ivask M.M. Izmenchivost' energosoderzhaniya semyan eli evropeyskoy [Variability of the Energy Content of Fir Spruce Seeds]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1988, no. 2, pp. 83–85.
10. Kazimirov N.I. *El'* [Spruce]. Moscow, 1983. 80 p.

11. Shashkova E.V. Posevnye kachestva semyan khvoynykh porod v usloviyakh kol'skikh lesov [Seeds Sowing Qualities of the Coniferous Species in the Conditions of the Kola Forests]. *Agrarnaya Rossiya*. 2009. Spets. vyp.: *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nye problemy dendrologii i adaptatsii rasteniy"*, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Yuriya Zakharovicha Kulagina [Agrarian Russia. 2009. Proc. Int. Conf. "Actual Problems of Dendrology and Plant Adaptation", Dedicated to the 80th Anniversary of Professor Yuri Zakharovich Kulagin], pp. 48–49.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.1.89

***Nakvasina Elena Nikolaevna***

Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov  
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;  
*e-mail*: nakvasina@yandex.ru, e.nakvasina@narfu.ru

***Yudina Ol'ga Al'bertovna***

Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov  
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;  
*e-mail*: olga23121972@yandex.ru, o.yudina@narfu.ru

***Pokatilo Aleksandr Vital'evich***

Federal Forestry Agency Roslesinforg, Arkhangelsk Branch  
Nikitov str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation;  
*e-mail*: solomon\_gtr@mail.ru

**GROWTH AND REPRODUCTIVE RESPONSE  
OF *PICEA ABIES* (L.) KARST. X *P. OBOVATA* LEDEB.  
IN CLIMATE CHANGE SIMULATION**

The paper presents the use of the provenance trials to assess the response of spruce to the expected climate change. The studies are conducted in the climate test area in Arkhangelsk region (Plesetsk Forestry), which is a part of the state network of the provenance trials. We selected 3 spruce climate types, their shelterwoods were located further north than Plesetsk test object: Monchegorsk forestry (Murmansk region), Pinega and Kholmogory forestry (Arkhangelsk region). This allowed us to monitor the features of changes in their growth and reproductive characteristics in simulated warming of the 37-year-old provenance. The offspring growth in Plesetsk test point was compared with the growth of forest plantations of similar age (Arkhangelsk region) and natural stands (Murmansk region) at the place of the original plantations. The indicators of average annual growth in height and diameter were used to compare the plants of different ages. Spruce in the middle taiga subzone increased the growth in diameter and height, improved seeds quality (weight and seed germination) in simulated warming. The introgressive hybrids of Siberian spruce and fir spruce of Arkhangelsk region responded more actively to warming by their growth. The northernmost spruce reacted slower to the improvement of climatic factors. Spruce in Murmansk region did not reach the yield of spruce stands growing in Arkhangelsk region even upon the occurrence of the expected climate warming. However, we can expect a noticeable increase in seeds quality, and hence the natural regeneration under the canopy of plants.

***Keywords:*** spruce, climate type, climate warming, provenance trial.