

С. П. Арефьев
М. Н. Казанцева
П. П. Попов

Индивидуальная изменчивость шишек и семян ели сибирской на северном пределе ее распространения в Ямало-Ненецком автономном округе

Впервые изучены репродуктивные характеристики *Picea obovata* Ledeb. на северной границе ее ареала в Ямало-Ненецком автономном округе близ пос. Яр-Сале в год высокого для региона урожая шишек (2019). Ель здесь образует очень мелкие шишки (32—55 мм), индивидуальная изменчивость их длины сравнительно небольшая (12%). Число полных семян в шишках очень малое (до 7 шт.), этот показатель характеризуется высокой изменчивостью, у 18% деревьев семена в шишках вообще отсутствуют. Масса одного семени 3—6 (7) мг, доля мелких (легких) семян (3—4 мг) составила 77%, а тяжелых (5 мг и более) — 23%. По показателям прорастания (при ежедневном учете) и всхожести семян наблюдается большая индивидуальная изменчивость. Распределения семян ели из района пос. Яр-Сале по массе и срокам (дням) прорастания характеризуются четко выраженной положительной асимметрией. Низкие показатели прорастания и всхожести семян ели на северном пределе, несомненно, обусловлены экстремальными условиями произрастания и репродукции этого вида. Несмотря на низкие посевные качества семян, они представляют здесь большую ценность для воспроизводства вида. Большая индивидуальная изменчивость местной ели по количеству и качеству производимых семян обуславливает возможность индивидуального отбора деревьев в качестве семенных для лесоводства.

Ключевые слова: ель сибирская, Ямало-Ненецкий автономный округ, шишки, семена, индивидуальная изменчивость.

Введение. Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) на территории Ямало-Ненецкого автономного округа является одной из наиболее распространенных древесных пород [2; 8; 10; 12]. Образованные ею или с ее участием леса и редколесья имеют существенное экологическое и хозяйственное значение. Но изучены они во многих отношениях недостаточно. Если, например, репродуктивные признаки ели на Европейском севере более или менее известны [3; 4; 13; 15; 16; 24, 28], то на севере Западной Сибири подобных исследований выполнено мало [1; 9; 11; 17; 21; 22]. Актуальность таких исследований возрастает в связи с потеплением климата и отмечаемым дрейфом лесной зоны региона в северном направлении [27]. Показано, что потепление климата будет способствовать существенному повышению качества семян ели на севере ее ареала [14].

Индивидуальная изменчивость репродуктивных органов деревьев ели в регионе практически не изучалась.

Целью работы является изучение индивидуальной изменчивости шишек и семян ели сибирской на северном пределе ее распространения в Ямало-Ненецком автономном округе.

Материалы и методы

Работы проводились в 2019 году в 4 км к северо-западу от пос. Яр-Сале (N 66.909958°, E 70.740255°). Согласно геоботаническому районированию, эта территория расположена на стыке южных субарктических тундр и подзоны редколесий таежной зоны Западно-Сибирской равнины [8]. Здесь проходит северная граница распространения лесной растительности. Ель сибирская на изучаемой территории входит в состав елово-лиственничных (с *Larix sibirica* Ledeb.) и лиственнично-еловых зеленомошно-кустарничковых и лишайниковых редколесий, которые приурочены преимущественно к долинам рек.

© Арефьев С. П., Казанцева М. Н., Попов П. П., 2020

Небольшие фрагменты древесной растительности и отдельные группы деревьев встречаются и на водораздельных пространствах среди кустарниковых тундр с карликовой березкой (*Betula nana* L.) и различными видами ив (*Salix glauca* L., *S. pulchra* Cham. и др.).

Участок, на котором проводились работы по сбору шишек, представляет собой песчаную возвышенность с редкими деревьями (местами с редкостойными древостоями) лиственницы, березы (*Betula pubescens* Ehrh.) и ели. Высота еловых деревьев 2—4 м, средний диаметр 10 см, возраст по данным подсчета годичных колец — 60—70 лет. Состояние деревьев ели (с учетом экстремальности условий произрастания) оценивается как удовлетворительное, радиальный прирост в 2019 г. был близок к норме последнего десятилетия (около 1 мм). Таксационное описание отдельных деревьев ели могло бы составить тему отдельного исследования, поскольку многие из них имеют сильно уклоняющуюся от обычной форму (сильно сбежистую, искривленную, многоствольную и т.п.). У некоторых экземпляров наблюдается переход к стланиковой форме и оголение центральной части ствола в результате охлестывания снегом при сильных зимних ветрах (рис. 1). На характерную «двухкронную» форму елей у границы ее распространения в Ямальской лесотундре обращал внимание еще В. С. Говорухин (1957) [5]. Семеношение на таких деревьях наблюдалось как в верхней, так и в нижней (зимой находящейся под снегом) части кроны.



Рис. 1. Сбор шишек ели на северном пределе ее ареала в окрестностях пос. Яр-Сале

В 2019 году в районе исследований наблюдался хороший урожай шишек ели, оцениваемый 4—5 баллами по шкале Каппера. Следует отметить, что в 2019 г. среднегодовая температура воздуха (по данным метеостанции Салехард <http://www.pogodaiklimat.ru/history/23330.htm> [18]) составляла $-4,6^{\circ}\text{C}$ и была выше многолетней нормы (с 1966 г.) на $1,1^{\circ}\text{C}$. В частности, теплее были весенние месяцы (март — на $4,7$, апрель — на $2,1$, май — на $1,5^{\circ}\text{C}$), июль (на $2,3^{\circ}\text{C}$). Годовое количество осадков в 2019 г. — максимальное

за последнее десятилетие и составило 598 мм, что выше многолетней нормы (453 мм) в 1,3 раза; количество осадков в период с мая по сентябрь в целом близко к максимальному и выше нормы в 1,5 раза.

Шишки были собраны 20 сентября с 28 деревьев, по 10—20 шт. с каждого, на доступной высоте 1,5—2,5 м. В условиях лаборатории при температуре +25—26°C в течение месяца шишки полностью раскрылись. Из них извлекли семена вместе с крылатками путем встряхивания. Из общей массы отобрали семена, имеющие «нормальный» размер (недоразвитые семена, а большей частью зачатки семян, легко отличаются от «нормальных»). Отобранные семена очищали от крылаток и взвешивали каждое в отдельности на торсионных весах ВТ-500 с точностью 1 мг, при этом отделяли полные от пустых [19]. Полные семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге в лабораторных условиях в течение 20 дней. Учет проросших семян проводили ежедневно в одно и то же время. К проросшим относили семена с длиной ростка не менее длины семени [23]. Длительность периода прорастания определяли как сумму произведений числа проросших семян на день учета, деленную на общее их число [25].

Результаты и обсуждение

Средняя длина шишек по отдельным деревьям колеблется в пределах 32—55 мм (среднее по всей совокупности деревьев равно 44 мм) (табл. 1), коэффициент вариации равен 12%. Пределы внутрикронного варьирования показателя составляют в среднем от 36 до 51 мм, т.е. большее значение превосходит меньшее в 1,4 раза. По средней длине шишек отдельных деревьев (55:32) это превышение равно 1,7 раза.

Таблица 1

Показатели длины шишек и числа полных семян по отдельным деревьям ели на северном пределе ее распространения близ пос. Яр-Сале в Ямало-Ненецком автономном округе

Номер дерева, образца	n	Длина шишек, мм X (Lim)	Число полных семян (шт.) массой, мг					Итого
			3	4	5	6	7	
1	13	45 (40–55)	1	–	1	–	–	2
2	12	40 (30–50)	–	–	–	–	–	–
3	12	42 (35–50)	2	–	–	–	–	2
4	12	41 (35–45)	3	1	–	–	–	4
5	15	46 (40–50)	49	45	8	6	–	108
6	12	51 (42–60)	1	1	5	3	3	13
7	15	51 (45–55)	2	4	–	–	–	6
8	13	47 (30–55)	–	–	–	–	–	–
9	15	49 (40–55)	–	–	2	–	–	2
10	15	32 (30–40)	12	14	1	–	–	27
11	16	40 (30–50)	–	–	–	–	–	–
12	13	40 (32–50)	–	1	1	1	–	3
13	17	41 (30–45)	1	1	–	–	–	2
14	14	48 (40–55)	3	11	7	3	–	24
15	14	41 (35–50)	7	24	8	1	–	40
16	15	46 (40–50)	1	6	3	1	–	11
17	15	46 (40–55)	2	5	1	–	–	8
18	11	47 (40–55)	3	–	1	–	–	4
19	15	40 (35–50)	9	21	3	3	–	36
20	15	43 (30–50)	–	–	–	–	–	–

Номер дерева, образца	n	Длина шишек, мм	Число полных семян (шт.) массой, мг					Итого
		X (Lim)	3	4	5	6	7	
21	15	37 (30–45)	–	–	–	–	–	–
22	15	36 (30–40)	5	5	1	–	–	11
23	16	51 (45–55)	1	2	1	–	–	4
24	15	41 (35–50)	7	4	1	–	–	12
25	15	55 (45–60)	8	29	18	17	–	72
26	16	44 (40–50)	10	14	–	–	–	24
27	20	38 (30–45)	11	3	1	–	–	15
28	22	45 (35–55)	3	–	–	–	–	3
Итого	413	44 (36–51)	141	191	63	35	3	433
%	–	–	33	44	14	8	1	100

Примечание: n — число шишек в образце, X — среднее значение, Lim — крайние значения.

При взвешивании «нормальных» по размеру семян оказалось, что все семена массой 2 мг и менее пустые, массой 3 мг и более — полные. Число пустых семян и особенно зачатков (недоразвитых) намного превышает число полных. В целом же число полных семян во всех образцах очень мало, а его индивидуальная изменчивость очень высокая (2—108 шт.). В 5 образцах (№ 2, 8, 11, 20, 21) семян совсем не оказалось. В среднем на один образец приходится 19 полных семян, а с учетом тех деревьев, на которых полных семян не было вообще, еще меньше. В расчете на 1 шишку в итоге приходится всего одно полное семя. Максимальное значение этого показателя — в образце № 5, но и здесь число полных семян немногим более 7. Пределы варьирования массы полных семян составляют 3—6 мг, и только в одном образце (№ 6) 3 семени из 13 оказались массой 7 мг. На легкие семена массой 3 и 4 мг приходится около 77%, а на тяжелые (5—6 (7) мг) — 23%. То есть наблюдается очень большая положительная асимметрия в их распределении по массе (рис. 2). В среднем масса 1 семени равна 4 мг, а масса 1000 шт. — 4 г. Практически она такая же, как и на других участках в северных районах Ямало-Ненецкого автономного округа [1].

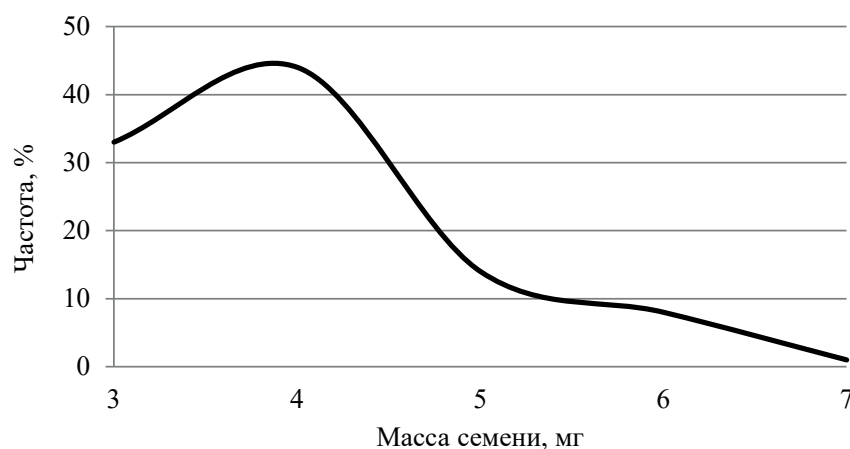


Рис. 2. Распределение полных семян ели по массе (мг) на северном пределе ее распространения близ пос. Яр-Сале в Ямало-Ненецком автономном округе

При высоком варьировании числа полных семян в образцах проращивать их по всем отдельным деревьям не имело смысла, поскольку на многих деревьях число полных се-

мян всего 2—13 шт. Поэтому в виде отдельных партий проращивали семена только с тех деревьев, где их число было более 20. Таких образцов семь (№ 5, 10, 14, 15, 19, 25, 26), остальные семена проращивали смешанной партией (табл. 2). При этом выявлена очень большая индивидуальная изменчивость деревьев по числу прорастающих (по дням учета) и проросших семян за весь период, равный 14 дням. Общее число проросших семян небольшое, всего 160 шт. из 433, то есть 37%. Энергия прорастания (за 10 дней) в этом случае составила 35%, всхожесть — 37%, а длительность прорастания семян равна 6,98 дня (по ГОСТ 14161-86) [6].

Таблица 2

Ход прорастания семян ели с отдельных деревьев на северном пределе ее распространения близ пос. Яр-Сале в Ямало-Ненецком автономном округе

Номера деревьев	Число семян, заложенных на проращивание, шт.	Число проросших семян по дням учета, шт.											Итого
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
5	108			3	11	9	1				1	1	26
10	27			3	1	2	2	2	1				11
14	24			1	1		3	1	1				7
15	40			2	3	4	1				1		11
19	36			3			1						4
25	72	10	31	20	2		3	1	1				68
26	24				6	2	2	1					11
1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 16	102				7	7	3	3	1	1			22
Итого	433	10	31	32	31	24	16	8	4	1	2	1	160
%	100	7	19	20	19	15	10	5	2	1	1	1	37

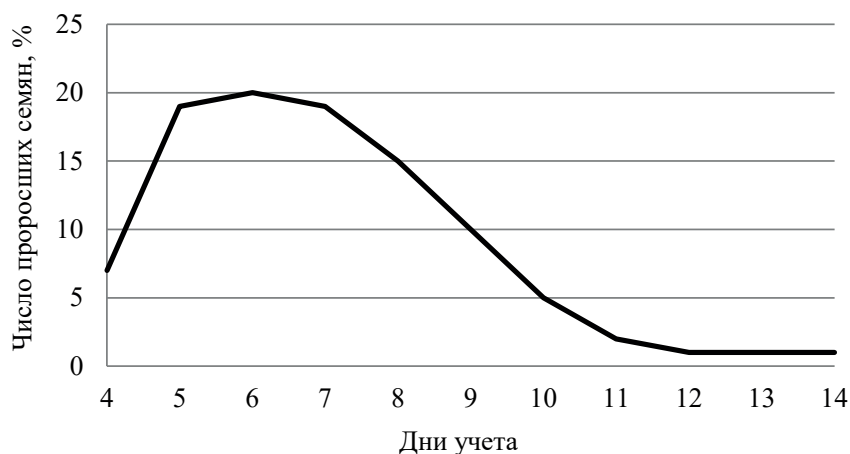


Рис. 3. Ход прорастания семян ели сибирской на северном пределе ее произрастания близ пос. Яр-Сале в Ямало-Ненецком автономном округе

Неожиданным оказалось раннее (на 4-й день) начало прорастания семян в образце № 25, которое практически завершилось в течение 3 дней (61 семя из 68 проросших). Такого раннего начала прорастания семян ели на севере ее ареала в Западной Сибири прежде нами не наблюдалось [1; 22]. Во всех остальных образцах (по отдельным деревьям) прорастание началось на 6-й, а в смешанной партии семян — на 7-й день. Большая часть семян проросла в течение 4 дней (от начала прорастания) (рис. 3). Длительность прорастания всех семян составляет 7 дней. При этом заметна тенденция некоторого уве-

личения всхожести семян (по ГОСТ 130056.6-97) [7] с отдельных деревьев при большем их числе в шишках.

Низкая всхожесть семян ели (по ГОСТ 14161-86) [6] на северном пределе ее распространения не умаляет большой ценности их для естественного и, возможно, искусственного воспроизводства лесов. Индивидуальные особенности деревьев, в том числе их семеношение, сохраняются во времени (по годам), поэтому имеет смысл отбирать и сохранять наиболее продуктивные по количеству и качеству семян деревья как семенные после соответствующих испытаний.

Изучение всхожести семян хвойных пород часто сопровождается учетом числа семядолей у всходов, после того как они раскроются, сбросив кожуру (оболочку) семени. Выход семядолей — важный этап в жизни проростков древесных растений. В естественных условиях он характеризует переход молодых растений к самостоятельному питанию и фотосинтетическому процессу. И хотя этот вопрос для елей европейской и сибирской как будто достаточно изучен, начиная с Ф. Федоровича [20; 26], для крайних северных территорий ареала елей он все еще представляет большой интерес. Из всей совокупности всходов учет семядолей провели у 148. Распределение всходов по числу семядолей оказалось обычным для ели сибирской [20], т.е. от 4 до 9 шт., и близко к нормальному (табл. 3).

Таблица 3

Число всходов ели сибирской с разным количеством семядолей из семян урожая 2019 г., собранных близ пос. Яр-Сале в Ямало-Ненецком автономном округе

Показатель	Число семядолей, шт.						Итого
	4	5	6	7	8	9	
Число всходов, шт.	8	25	79	26	8	2	148
Доля от общего числа всходов, %	5,4	16,9	53,4	17,6	5,4	1,3	100

Среднее число семядолей составило 6,05 шт., почти так же, как и в других северных районах Ямало-Ненецкого автономного округа [21]. Доля всходов с малым числом семядолей (4—6 шт.) составляет $\frac{3}{4}$, а с большим числом (7—9) — $\frac{1}{4}$, это близко к установленному выше соотношению масс легких и тяжелых полных семян, поскольку между этими признаками имеется достоверная положительная корреляция среднего уровня [20].

Заключение

Таким образом, ель сибирская на северном пределе произрастания в Ямало-Ненецком автономном округе (близ пос. Яр-Сале) характеризуется сравнительно небольшой индивидуальной изменчивостью (12%) очень мелких шишек (32—55 мм) и высокой изменчивостью в среднем весьма малого количества полных семян в шишке (до 7 шт.) в год высокого урожая (2019). Масса полного семени равна 3—6 (7) мг. Доля мелких (легких) семян (3—4 мг) составляет 77%, а тяжелых (5 мг и более) — 23%. Все семена массой 2 мг и менее — пустые. Всхожесть семян составила 37%, энергия прорастания — 35%, длительность прорастания — 6,98 дня. Высокая индивидуальная изменчивость наблюдается по показателям прорастания и всхожести семян. Низкие показатели качества семян ели в регионе обусловлены комплексом причин, связанных с экстремальными условиями произрастания вида. Большая индивидуальная изменчивость ели на северном пределе распространения, прежде всего по качеству семян, обуславливает возможность индивидуального отбора деревьев в качестве семенных для лесоводства.

Работа выполнена в рамках госзадания: проект № АААА-А17-117050400146-5 НИР ТюмНЦ СО РАН.

Список использованной литературы

1. Арефьев С. П., Казанцева М. Н., Попов П. П. Некоторые особенности в изменчивости семян ели сибирской в северных районах ареала (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Т. 2, № 4. С. 96—107. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-4-96-107.
2. Атлас лесов СССР. М. : ГУГК, 1973. 222 с.
3. Барабин А. И. Размещение и оценка урожая семян ели в 1973 г. на Европейском Северо-Востоке // Лесной журнал. 1978. № 5. С. 146—148.
4. Басов В. А. Эколого-географические закономерности семенной продуктивности ели на Европейском Севере // Труды Коми научного Центра АН СССР. 1988. Вып. 96. С. 21—38.
5. Говорухин В. С. Редколесья на полярном пределе лесов Малого Ямала и в Приобской лесотундре // Землеведение. 1957. Т. 44, № 4. С. 214—228.
6. ГОСТ 14161-86. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1986. 8 с.
7. ГОСТ 130056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М. : Изд-во стандартов, 1998. 27 с.
8. Ильина И. С., Лапшина Н. Н., Лавренко Н. Н., Мельцер Л. И., Романова Е. А., Богоявленский Б. А., Махно В. Д. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск : Наука, 1985. 250 с.
9. Казанцева М. Н., Арефьев С. П., Попов П. П. Индивидуальная и географическая изменчивость шишек и формы семенных чешуй ели сибирской в сибирской части ареала // Лесоведение. 2019. № 3. С. 198—207. DOI: 10.1134/S0024114819020037.
10. Керженцев И. Л. Леса Тюменской области. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1954. 52 с.
11. Коропачинский И. Ю., Потемкин О. Н., Рудиковский А. В., Кузнецова Е. В. Полиморфизм и структура популяций ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на северном пределе распространения вида // Сибирский экологический журнал. 2012. № 2. С. 175—184.
12. Крылов Г. В. Леса Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1961. 255 с.
13. Милютин Л. И. О таксономическом статусе и внутривидовой изменчивости ели сибирской (*Picea obovata*) // Ботанический журнал. 2015. Т. 100, № 1. С. 33—38. DOI: 10.1134/S0006813615010044.
14. Наквасина Е. Н., Юдина О. А., Покатило А. В. Ростовая и репродуктивная реакция *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* Ledeb. при имитации потепления климата // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер. Естественные науки. 2016. № 1. С. 89—96. DOI: 10.17238/issn2227-6572.2016.1.89.
15. Некрасова Т. П. Репродукция ели на Кольском Севере // Ботанический журнал. 1948. Т. 33, № 2. С. 239—248.
16. Новиков Г. А. Плодоношение ели на Кольском полуострове // Известия ВГО. 1940. Т. 72, № 3. С. 403—405.
17. Норин Б. Н. К познанию семенного и вегетативного возобновления древесных пород в лесотундре // Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. Л. : Изд-во АН СССР, 1958. Вып. 3. С. 154—244.
18. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/23330.htm>. (Дата обращения: 30.04.2020).
19. Попов П. П. Изучение изменчивости массы семян *Picea* sp. (Pinaceae) для оценки их качества // Растительные ресурсы. 2009. Вып. 3. С. 31—37.
20. Попов П. П. Популяционно-географическая изменчивость числа семян у всходов ели европейской и сибирской // Лесоведение. 2013. № 1. С. 9—15.
21. Попов П. П., Арефьев С. П., Гашева Н. А., Казанцева М. Н. Морфометрические показатели генеративных органов *Picea obovata* (Pinaceae) на севере Западной Сибири // Растительные ресурсы. 2015. Т. 51, № 1. С. 3—12.
22. Попов П. П., Арефьев С. П., Гашева Н. А., Казанцева М. Н. Качество семян *Picea obovata* (Pinaceae) на северной границе ареала (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Растительные ресурсы. 2015. Т. 51, № 4. С. 512—519.
23. Справочник по лесосеменному делу. М. : Лесная промышленность, 1978. 463 с.
24. Тарханов С. Н., Пинаевская Е. А. Изменчивость морфоструктурных признаков ели разного возраста в условиях севера Архангельской области // Лесной журнал (Известия высших учебных заведений). 2019. № 2. С. 56—66. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.56.
25. Тольский А. П. Лесное семеноведение. Л. : Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо, 1927. 260 с.

26. Федорович Ф. Новые наблюдения над сибирской елью (*Picea obovata* Ledeb.) // Лесной журнал. 1876. Вып. 1. С. 15—26.
27. Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2009. 216 с.
28. Anderson E. Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // Studia Forestalia Suecica. 1965. N 23. P. 1—214.

Поступила в редакцию 01.04.2020

Арефьев Станислав Павлович, доктор биологических наук
Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН
Российская Федерация, 625003, Тюмень, ул. Малыгина, 86
E-mail: sp_arefyev@mail.ru

Казанцева Мария Николаевна, кандидат биологических наук
Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН
Российская Федерация, 625003, Тюмень, ул. Малыгина, 86
E-mail: MNKazantseva@yandex.ru

Попов Петр Петрович, доктор биологических наук
Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН
Российская Федерация, 625003, Тюмень, ул. Малыгина, 86
E-mail: ipospopov@mail.ru

UDC 630*17:582.475.2:630*232.318

S. P. Arefyev
M. N. Kazantseva
P. P. Popov

Individual variability of cones and seeds of Siberian spruce on the northern border of its distribution range in the Yamal-Nenets Autonomous District

For the first time, the reproductive characteristics of spruce (*Picea obovata* Ledeb.) were studied on the northern border of its range in the Yamalo-Nenets Autonomous District near the village Yar-Sale in the year of a high cone crop for the region (2019). The spruce here forms very small cones (32—55 mm), and the individual variability of their length is relatively small (12%). The number of full seeds in cones is very small (up to 7 pcs.), this indicator is characterized by high variability, in 18% of the trees there are no seeds in cones at all. The weight of 1 seed is 3—6 (7) mg, the proportion of small (light) seeds (3—4 mg) — 77%, and heavy (5 mg or more) — 23%. In terms of germination (with daily accounting) and seed viability, there is a large individual variability. Spruce seed distribution from the area of the village Yar-Sale in terms of mass and time (days) of germination is characterized by a pronounced positive asymmetry. The low rates of germination and viability of spruce seeds at the northern limit are undoubtedly due to the extreme conditions of the growth and reproduction of this species. Despite the low sowing quality of seeds, they are of great value for the reproduction of the species. The large individual variability of the local spruce in the quantity and quality of the seeds produced makes it possible to individually select trees as seed for forestry.

Key words: Siberian spruce, Yamal-Nenets Autonomous District, cones, seeds, individual variability.

Arefyev Stanislav Pavlovich, Doctor of Biological Sciences
Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS
Russian Federation, 625003, Tyumen, ul. Malygina, 86
E-mail: sp_arefyev@mail.ru

Kazantseva Mariya Nikolaevna, Candidate of Biological Sciences
Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS

Russian Federation, 625003, Tyumen, ul. Malygina, 86
E-mail: MNKazantseva@yandex.ru

Popov Petr Petrovich, Doctor of Biological Sciences
Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS
Russian Federation, 625003, Tyumen, ul. Malygina, 86
E-mail: ipospopov@mail.ru

References

1. Aref'ev S. P., Kazantseva M. N., Popov P. P. Nekotorye osobennosti v izmenchivosti semyan eli sibirskoi v severnykh raionakh areala (Yamalo-Nenetskiy avtonomnyi okrug) [Some features in the variability of Siberian spruce seeds in the northern regions of the range (Yamalo-Nenets Autonomous District)]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie — Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*, 2016, vol. 2, no. 4, pp. 96—107. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-4-96-107. (In Russian)
2. *Atlas lesov SSSR* [Atlas of the USSR forests]. Moscow, GUGK Publ., 1973. 222 p. (In Russian)
3. Barabin A. I. Razmeshchenie i otsenka urozhaya semyan eli v 1973 g. na Evropeiskom Severo-Vostoke [Placing and estimating the spruce seed crop in 1973 in the European Northeast]. *Lesnoi zhurnal — Russian Forestry Journal*, 1978, no. 5, pp. 146—148. (In Russian)
4. Basov V. A. Ekologo-geograficheskie zakonomernosti semennoi produktivnosti eli na Evropeiskom Severe [Ecological and geographical trends of spruce seed production in the European North]. *Trudy Komi nauchnogo Tsentra AN SSSR*, 1988, is. 96, pp. 21—38. (In Russian)
5. Govorukhin V. S. Redkoles'ya na polyarnom predele lesov Malogo Yamala i v Priobskoi lesotundre [Light forests on the polar limit of the forests of the Small Yamal and in the Priobsk forest tundra]. *Zemlevedenie*, 1957, vol. 44, no. 4, pp. 214—228. (In Russian)
6. *GOST 14161-86. Semena khvoynykh drevesnykh porod. Posevnye kachestva. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 14161-86. Seeds of coniferous trees. Sowing qualities. Technical conditions]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1986. 8 p. (In Russian)
7. *GOST 130056.6-97. Semena derev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti* [GOST 130056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Method for determination of germination]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1998. 27 s. (In Russian)
8. Il'ina I. S., Lapshina N. N., Lavrenko N. N., Mel'tser L. I., Romanova E. A., Bogoyavlenskii B. A., Makhno V. D. *Rastitel'nyi pokrov Zapadno-Sibirskoi ravniny* [The vegetation cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 250 p. (In Russian)
9. Kazantseva M. N., Aref'ev S. P., Popov P. P. Individual'naya i geograficheskaya izmenchivost' shishek i formy semennykh cheshui eli sibirskoi v sibirskoi chasti areala [Individual and geographic variability of cones and seed scale forms of Siberian spruce in the Siberian part of the range]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 2019, no. 3, pp. 198—207. DOI: 10.1134/S0024114819020037. (In Russian)
10. Kerzhentsev I. L. *Lesa Tyumenskoi oblasti* [Forests of the Tyumen region]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1954. 52 p. (In Russian)
11. Koropachinskii I. Yu., Potemkin O. N., Rudikovskii A. V., Kuznetsova E. V. Polimorfizm i struktura populyatsii eli sibirskoi (*Picea obovata* Ledeb.) na severnom predele rasprostraneniya vida [Polymorphism and structure of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) populations at the northern limits of the species distribution]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal — Contemporary Problems of Ecology*, 2012, no. 2, pp. 175—184. (In Russian)
12. Krylov G. V. *Lesa Zapadnoi Sibiri* [Forests of the Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1961. 255 p. (In Russian)
13. Milyutin L. I. O taksonomicheskom statuse i vnurividovoi izmenchivosti eli sibirskoi (*Picea obovata*) [On the taxonomic status and intraspecific variability of Siberian spruce (*Picea obovata*)]. *Botanicheskii zhurnal*, 2015, vol. 100, no. 1, pp. 33—38. DOI: 10.1134/S0006813615010044. (In Russian)
14. Nakvasina E. N., Yudina O. A., Pokatilo A. V. Rostovaya i reproduktivnaya reaktsiya *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* Ledeb. pri imitatsii potepeniya klimata [Growth and reproductive response of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* Ledeb. in climate change simulation]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki — Arctic Environmental Research*, 2016, no. 1, pp. 89—96. DOI: 10.17238/issn2227-6572.2016.1.89. (In Russian)
15. Nekrasova T. P. Reproduktsiya eli na Kol'skom Severe [Reproduction of Siberian spruce in the Kola North]. *Botanicheskii zhurnal*, 1948, vol. 33, no. 2, pp. 239—248. (In Russian)

16. Novikov G. A. Plodonoshenie eli na Kol'skom poluostrove [Fruiting of spruce on the Kola Peninsula]. *Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo Obshestva*, 1940, vol. 72, no. 3, pp. 403—405. (In Russian)
17. Norin B. N. K poznaniyu semennogo i vegetativnogo vozobnovleniya drevesnykh porod v lesotundre [To the comprehension of seed and vegetative regeneration of woody species in forest-tundra]. *Rastitel'nost' Krainego Severa SSSR i ee osvoenie* [Vegetation of the Far North of the USSR and its development]. Leningrad, AN SSSR Publ., 1958, is. 3, pp. 154—244. (In Russian)
18. *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/23330.htm>. Accessed: 30.04.2020). (In Russian)
19. Popov P. P. Izuchenie izmenchivosti massy semyan Picea sp. (Pinaceae) dlya otsenki ikh kachestva [The study of seed mass variation in Picea Sp. (Pinaceae) for evaluation of their quality]. *Rastitel'nye resursy*, 2009, is. 3, pp. 31—37. (In Russian)
20. Popov P. P. Populyatsionno-geograficheskaya izmenchivost' chisla semyadolei u vskhodov eli evropeiskoi i sibirskoi [Population-geographic variability of the cotyledon in seedlings of Norway and Siberian spruce]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 1, pp. 9—15. (In Russian)
21. Popov P. P., Aref'ev S. P., Gasheva N. A., Kazantseva M. N. Morfometricheskie pokazateli generativnykh organov Picea obovata (Pinaceae) na severe Zapadnoi Sibiri [Morphometric parameters of the generative organs of Picea obovata (Pinaceae) in North of West Siberia]. *Rastitel'nye resursy*, 2015, vol. 51, no. 1, pp. 3—12. (In Russian)
22. Popov P. P., Aref'ev S. P., Gasheva N. A., Kazantseva M. N. Kachestvo semyan Picea obovata (Pinaceae) na severnoi granitse areala (Yamalo-Nenetskiy avtonomnyi okrug) [Seed quality of Picea obovata (Pinaceae) on the northern border of the range (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)]. *Rastitel'nye resursy*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 512—519. (In Russian)
23. *Spravochnik po lesosemennomu delu* [Handbook of forest seed management]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 463 p. (In Russian)
24. Tarkhanov S. N., Pinaevskaya E. A. Izmenchivost' morfostrukturnykh priznakov eli raznogo vozrasta v usloviyakh severa Arkhangel'skoi oblasti [Variability of morphostructural features of uneven-aged spruce in the north of Arkhangelsk region] *Lesnoi zhurnal — Russian Forestry Journal (Bulletin of Higher Educational Institutions)*, 2019, no. 2, pp. 56—66. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.56. (In Russian)
25. Tol'skii A. P. *Lesnoe semenovedenie* [Forest seed science]. Leningrad, Lesnoe khozyaistvo, lesopromyshlennost' i toplivo Publ., 1927. 260 p. (In Russian)
26. Fedorovich F. Novye nablyudeniya nad sibirskoi el'yu (Picea obovata Ledeb.) [New observations of Siberian spruce forest (Picea obovata Ledeb.)]. *Lesnoi zhurnal — Russian Forestry Journal*, 1876, is. 1, pp. 15—26. (In Russian)
27. Shiyatov S. G. *Dinamika drevesnoi i kustarnikovoii rastitel'nosti v gorakh Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremennykh izmenenii klimata* [Dynamics of wood and shrubby vegetation in the Polar Ural Mountains under the influence of modern climate change]. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 2009. 216 p. (In Russian)
28. Anderson E. Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Studia Forestalia Suecica*, 1965, no. 23, pp. 1—214.