

СЕДЕЛЬНИКОВА Т.С.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»,
 Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru,
 (007) 391-249-44-47

РАЗВИТИЕ КАРИОЛОГИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТНЫХ И СУХОДОЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ХВОЙНЫХ

Цель. На основании проведенных разными авторами исследований анализируются закономерности кариотипической и генетической дивергенции популяций хвойных, произрастающих на болотах и суходолах. **Методы.** Применены кариологический и молекулярно-генетический методы анализа. **Результаты.** Получены данные о возможных путях эволюции кариотипов, заключающихся в изменениях числа хромосом, размеров и морфологии хромосом, числа вторичных перетяжек в хромосомах, спектра хромосомных перестроек и частоты их встречаемости, и отличающих болотные популяции видов хвойных от суходольных. С помощью изоферментных маркеров и маркеров ядерного и цитоплазматического геномов выявлены различия генетической структуры болотных и суходольных популяций хвойных. **Выводы.** Генотипическая структура видов хвойных на болотах и суходолах, обусловленная различным вектором естественного отбора в контрастных экологических условиях произрастания, существенно различается, а их кариотипическая и генетическая дифференциация соответствует уровню популяций и групп популяций.

Ключевые слова: популяции хвойных, болота, суходола, кариологические и молекулярно-генетические маркеры.

Фенотипическое своеобразие популяций хвойных, формирующих болотные экосистемы, и их отличия от смежных насаждений на суходолах давно привлекали внимание исследователей. Было показано, что между популяциями хвойных на болотах и суходолах существует фенологическая и репродуктивная изоляция, определяющая различные направления естественного отбора и обуславливающая их дивергенцию в контрастных гидротермических и эдафических условиях произрастания [1]. При этом основной проблемой при исследовании полиморфизма болотных и суходольных популяций хвойных является установление уровня их генетической дифференциации и определяющих ее факторов. Кариологические и молекулярно-генетические исследования болотных и суходольных популяций хвойных впервые начали проводиться в 70–80-е гг. XX в. Был изучен кариотип сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на олиготрофных болотах и суходолах. Выявленные различия состояли в числе хромосом с вторичными перетяжками, оказавшемся более высоким в семенном потомстве деревьев с болот по сравнению с суходолами [2, 3]. При исследовании изоферментных систем *P. sylvestris* было установлено, что в болотных популяциях данного вида по сравнению с суходольными изменяется аллельный состав ферментов, увеличивается встречаемость мутантных форм некоторых из них [3–6]. Однако проведенные исследования охватывали популяции лишь одного вида – *P. sylvestris*, произрастающие только на болотах олиготрофного типа и суходолах Русской равнины, Урала, Зауралья и примыкающих районов Западной Сибири.

В последующие годы в качестве наиболее подходящего «полигона» для выявления закономерностей кариотипической и генетической дивергенции видов хвойных, произрастающих на болотах и суходолах, была выбрана территория Западной Сибири. Значительная часть Западно-Сибирской равнины занята лесоболотными экосистемами, слагаемыми видами семейства сосновые (Pinaceae Spreng. ex F. Rudolphi) из родов сосна (*Pinus* L.), ель (*Picea* A. Dietr.), лиственница (*Larix* Mill.), пихта (*Abies* Mill.) и семейства кипарисовые (Cupressaceae Bartl.) из рода можжевельник (*Juniperus* L.). Очевидно, что экологически контрастные условия болот и смежных с ними суходолов Западной Сибири обуславливают различия генотипического состава популяций хвойных. Поэтому дальнейшие исследования проводились в популяциях сосны

© СЕДЕЛЬНИКОВА Т.С.

обыкновенной, сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), произрастающих на болотах различных типов и суходолах, расположенных в южно-таежной подзоне Западной Сибири.

Изучен кариотип западносибирских популяций *P. sylvestris*, произрастающих на евтрофных и олиготрофных болотах и суходолах. Установлено, что в диплоидном наборе *P. sylvestris* содержится 24 хромосомы ($2n = 24$). В семенном потомстве деревьев, растущих на болотах, отмечена миксоплоидия. В кариотипах болотных и суходольной популяций *P. sylvestris* идентифицируется группа из 9 пар длинных симметричных хромосом (I-IX). Индивидуально идентифицируются 3 пары более коротких и асимметричных хромосом (X, XI и XII). По морфологии все хромосомы метацентрические. Популяция с олиготрофного болота достоверно отличается по длине хромосом от двух других. Различия между популяциями проявляются по числу вторичных перетяжек в хромосомах: в хромосомном наборе *P. sylvestris* с олиготрофного болота содержится 34 перетяжки, евтрофного болота – 20, суходола – 8. [7]. Кариотип деревьев *P. sylvestris* с аномалиями развития типа «ведьмины метлы» включает 24 хромосомы ($2n = 24$), в проростках семян с таких деревьев высокая встречаемость миксоплоидии. Число вторичных перетяжек в хромосомах деревьев с «ведьмиными метлами» составляет 47 [8]. Исследован кариотип внутривидовых форм *P. sylvestris* – f. (var.) *sulfuranthera* Kozubow и f. (var.) *erythranthera* Sanio, произрастающих с разной частотой на болотах и суходолах. Число хромосом у обеих форм составляет $2n = 24$. Миксоплоидия наиболее характерна для f. *sulfuranthera* на болотах и для f. *erythranthera* на суходолах. Внутривидовые формы f. *sulfuranthera* и f. *erythranthera* различаются между собой по длине хромосом и содержанию ДНК [9].

Хромосомные перестройки в болотных и суходольных популяциях *P. sylvestris* представлены кольцевыми и дицентрическими хромосомами, фрагментами, «гигантскими» хромосомами; аномалии митоза – мостами, многополюсными митозами, выбросами хромосом за пределы пластинки, отстающими и забегающими хромосомами. У деревьев с «ведьминой метлой» наблюдались аномальные по морфологии

ядрышки и феномен, известный как «остаточное ядрышко» в метафазе митоза. Встречаемость и спектр хромосомных нарушений и митотических аномалий в болотных популяциях *P. sylvestris* выше по сравнению с суходольными [8, 10, 11].

С помощью изоферментных методов анализа было установлено, что западносибирские популяции *P. sylvestris*, произрастающие на болотах и суходолах, несмотря на низкий уровень генетической дифференциации, отличаются по генетической структуре. Наиболее существенные различия в частотах аллелей проанализированных изоферментных локусов выявлены между популяциями сосны, произрастающими в контрастных по условиям водно-минерального питания местообитаниях на евтрофном и олиготрофном болотах [12].

Исследован кариотип болотной популяции *P. sibirica*, содержащий 11 пар длинных симметричных хромосом (I-XI), которые образуют единую группу с одинаковыми параметрами. Отдельно идентифицируется 1 пара более коротких и асимметричных хромосом (XII). Все хромосомы относятся к метацентрическому типу. Число вторичных перетяжек в хромосомах болотной популяции *P. sibirica* выше, чем в других исследованных популяциях данного вида, и составляет 32 на диплоидный набор. В популяции *P. sibirica* на болоте впервые для данного вида выявлены хромосомные перестройки – кольцевые и дицентрические хромосомы, фрагменты [13].

Исследован кариотип двух болотных и суходольной популяций *P. obovata*, характеризующийся числом хромосом равным 24 ($2n = 24$). Во всех трех популяциях ели отмечаются миксоплоидия, а также появление добавочных, или В-хромосом. Метацентрические хромосомы I-VIII пар образуют единую группу, индивидуально идентифицируются четыре пары хромосом – IX, X, XI и XII (из них IX и XII – субметацентрики, X и XI – метацентрики). Максимальным числом вторичных перетяжек характеризуется популяция *P. obovata* с болота (32) по сравнению с популяциями с болотной согры (26) и суходола (26). Хромосомные перестройки, обнаруженные в исследованных популяциях *P. obovata*, представлены кольцевыми и дицентрическими хромосомами, фрагментами, остаточными ядрышками; ана-телофазные нарушения – отстающими и забегающими хромосомами, мостами, фрагментами, хаотическим расхо-

ждением хромосом. Наиболее широкий спектр хромосомных перестроек и патологий митоза и их наибольшая встречаемость отмечены в обеих болотных популяциях ели сибирской [14].

Проведено изучение кариотипа *L. sibirica* с болотной согры и суходола. В диплоидном наборе *L. sibirica* содержится 24 хромосомы ($2n = 24$). В обеих популяциях лиственницы сибирской выделяются две группы и индивидуально одна пара хромосом. Первая группа состоит из 6 пар длинных метацентрических хромосом (I-VI). Более короткие субметацентрические хромосомы образуют вторую группу из 5 пар (VIII-XII). Отдельно идентифицируется одна пара хромосом интерцентрического типа (VII). Число вторичных перетяжек выше в популяции лиственницы с болотной согры (12) по сравнению с суходольной популяцией (8). У *L. sibirica* обнаружены хромосомные перестройки – кольцевые и дицентрические хромосомы, фрагменты, нарушения спирализации хромосом. Патологии митоза представлены фрагментами, многополюсными митозами, забегаящими и отстающими хромосомами, выбросами за пределы пластинки отдельных хромосом. Мосты и C-митоз встречались в болотной популяции лиственницы, агглютинация хромосом – в суходольной [15].

В диплоидном наборе *A. sibirica* с суходола и болотной согры содержится 24 хромосомы ($2n = 24$). У *A. sibirica* наблюдалась миксоплоидия. В обеих популяциях пихты идентифицируется группа, состоящая из 7 пар длинных метацентрических хромосом (I-VII). Более короткие субметацентрические хромосомы объединяются в группу из 5 пар (VIII-XII), из которых индивидуально идентифицируются только VIII и XII пары. Максимальным числом вторичных перетяжек в хромосомах характеризуются деревья из популяции пихты с болотной согры (18) по сравнению с популяцией с суходола (12). Хромосомные перестройки у пихты представлены дицентрическими и кольцевыми хромосомами, фрагментами; аномалии митоза – многополюсными митозами, отстающими и забегаящими хромосомами, мостами, фрагментами. У *A. sibirica* с болотной согры выявлена перичентрическая инверсия. Спектр хромосомных нарушений у деревьев пихты с болотной согры шире, чем у особей с суходола [16].

Кариологическое изучение болотной и суходольной популяций *J. communis* показало, что в их хромосомном наборе содержится 22

хромосомы ($2n = 22$). Все хромосомы можжевельника обыкновенного относятся к метацентрическому типу и объединяются в две группы: первая включает в себя 5 пар длинных хромосом (II – VI), вторая – три пары более коротких хромосом (IX – XI). Остальные три пары хромосом (I, VII – VIII) в кариотипе как болотной, так и суходольной популяций можжевельника содержат вторичные перетяжки. Межпопуляционный полиморфизм популяций *J. communis* проявляется в варьировании размеров хромосом [17].

В последние годы для исследования генотипической структуры и дифференциации болотных и суходольных популяций хвойных стали применяться маркеры полиморфизма нуклеотидной последовательности ДНК. По данным анализа межмикросателлитных (ISSR) маркеров обнаружены внутривидовые генетические различия и отсутствие прямого обмена генами в популяциях *P. sylvestris* на болотах и суходолах Марийской низменности, диагностируемые показателями их генетической подразделенности и величиной потока генов [18]. Анализ 6 ядерных микросателлитных (SSR) локусов в популяциях *P. sibirica* с олиготрофного болота, евтрофного болота и суходола, произрастающих в Западной Сибири, показал, что популяции различаются по уровню генетического разнообразия. Самые высокие значения почти всех параметров генетической изменчивости были выявлены в популяции *P. sibirica* с олиготрофного болота. С помощью генетических дистанций Нея показано, что популяции *P. sibirica* с суходола и евтрофного болота наиболее близки по генетической структуре, а популяция *P. sibirica* с олиготрофного болота существенно отличается от них [19]. В результате анализа 5 пар праймеров митохондриальной ДНК в популяциях *P. sibirica* с олиготрофного и евтрофного болот отобрана пара с наилучшей амплификацией, и для этого локуса выявлены 2 митотипа. Популяция *P. sibirica* с олиготрофного болота оказалась фиксированной по 1 митотипу; наиболее изменчивой оказалась выборка из популяции с евтрофного болота. По результатам тестирования праймеров для амплификации 4 хлоропластных локусов от одного пришлось отказаться из-за сложности амплифицированного спектра, два локуса оказались мономорфными в обеих популяциях, а третий – полиморфным с двумя аллелями. Всего по 3 хлоропластным локусам выявлено 2 гаплотипа в двух популяциях. Более полиморфной

оказалась популяция *P. sibirica* с евтрофного болота [20].

Таким образом, на основании полученных данных кариологического и молекулярно-генетического методов анализа можно заключить, что генотипическая структура популяций хвойных, произрастающих на болотах различных типов и суходолах, существенно различается, а их генетическая дифференциация соответствует уровню популяций и групп популяций. Дальнейшие исследования кариотипической и генетической изменчивости и форм ее прояв-

ления в болотных и суходольных популяциях хвойных могут прояснить адаптивную стратегию данных видов в зависимости от воздействия контрастных факторов среды.

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг., проект № 45 «Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири».

Литература

1. Седельникова Т.С. Дифференциация популяций видов семейства Pinaceae в экосистемах лесных болот и суходолов Западной Сибири. *Сиб. лесн. журн.* 2014. № 1. С. 93–103.
2. Исаков Ю.Н., Буторина А.К., Мурая Л.С., Машкина О.С. О корреляции между характером роста материнских деревьев сосны обыкновенной в разных экологических условиях и цитологическими особенностями их семенного потомства. *Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород.* Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1978. Вып. 5. С. 7–12.
3. Особенности формирования популяции сосны обыкновенной. М.: Наука, 1984. 128 с.
4. Петрова И.В., Санников С.Н., Рябконов С.М., Духарев В.А., Санникова Н.С. Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной в Западной Сибири. *Экология.* 1989. № 6. С. 39–44.
5. Семериков Л.Ф., Семериков В.Л., Подогаз А.В., Животовский Л.А., Шурхал А.В. О структуре эколого-генетической изменчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). *Экология.* 1993. № 6. С. 34–40.
6. Дворник В.Я., Котов В.С., Михеенко В.П. Генетическая дифференциация соседних популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих в различных экотопах. *Генетика.* 1998. № 9. С. 1258–1263.
7. Муратова Е.Н., Седельникова Т.С. Кариологическое исследование болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). *Экология.* 1993. № 6. С. 41–50.
8. Седельникова Т.С., Муратова Е.Н. Кариологическое изучение *Pinus sylvestris* (Pinaceae) с «ведьминой метлой», растущей на болоте. *Ботан. журн.* 2001. Т. 86. № 12. С. 50–60.
9. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. Ecotopic differentiation of yellow-anthered and red-anthered forms of Scots pine by karyological and traits and nuclear DNA content. *Biol. Bull.* 2015. Vol. 42, № 5. P. 401–410. doi: 10.1134/S106235901505012X.
10. Пименов А.В., Седельникова Т.С. Аномалии митоза в проростках *Pinus sylvestris* (Pinaceae) на евтрофном осушенном болоте. *Ботан. журн.* 2006. Т. 91, № 10. С. 1537–1544.
11. Sedel'nikova T.S., Pimenov A.V. Chromosomal mutations in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in a hydromorphic environment: First case of a giant chromosome detection. *Biol. Bull.* 2010. Vol. 37, № 4. P. 351–356. doi: 10.1134/S1062359010040047.
12. Larionova, A. Ya., Ekart A. K. Isoenzyme Diversity and Differentiation of Marsh Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) Populations in The Western Siberia. *Eurasian J. For. Res.* 2011. 14–1. P. 21–28.
13. Sedelnikova T.S., Muratova E.N. Specific Karyological Features of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in Western Siberian Bogs. *Rus. J. of Ecol.* 2002. Vol. 33, 5. P. 303–308. doi: 10.1023/A:1020232524851.
14. Седельникова Т.С., Муратова Е.Н., Пименов А.В., Ефремов С.П. Кариологические особенности болотных и суходольных популяций *Picea obovata* в Западной Сибири. *Ботан. журн.* 2004. Т. 89, № 5. С. 718–733.
15. Седельникова Т.С., Пименов А.В. Кариологическое изучение болотной и суходольной популяций *Larix sibirica* (Pinaceae) из Западной Сибири. *Ботан. журн.* 2005. Т. 90, № 4. С. 582–593.
16. Sedel'nikova T.S., Pimenov A.V. A karyological study of swamp and dry valley populations of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.). *Biol. Bull.* 2005. Vol. 32, 1. P. 16–21. doi: 10.1007/s10525-005-0004-7.
17. Михеева Н.А., Муратова Е.Н. Кариологическое изучение двух популяций можжевельника обыкновенного *Juniperus communis* L. в Западной Сибири. *Цитология.* 2005. Т. 47, № 8. С. 747–752.
18. Шейкина О.В., Демаков Ю.П., Гладков Ю.Ф., Унженина О.В. Генетическая изменчивость и дифференциация суходольной и болотной ценопопуляций сосны обыкновенной в Республике Марий Эл. *Научн. журн. КубГАУ.* 2013. № 94 (10). С. 1–12.
19. Oreshkova N.V., Sedel'nikova T.S., Pimenov A.V., Efremov S.P. Analysis of genetic structure and differentiation of the bog and dry land populations of *Pinus sibirica* Du Tour based on nuclear microsatellite loci. *Rus. J. Gen.* 2014. Vol. 50, № 9. P. 934–941. doi: 10.1134/S1022795414090105.
20. Орешкова Н.В., Седельникова Т.С., Пименов А.В. Поиск новых митохондриальных и хлоропластных микросателлитных маркеров для генетических исследований популяций сосны сибирской кедровой в западной Сибири. *Фактори експериментальної еволюції організмів.* К.: Логос, 2015. Т. 17. С. 79–81.

References

1. Sedelnikova T.S. Differentiation of the Pinaceae Family Species in Forest Bog and Dry Land Ecosystems of Western Siberia. *Sib. J. For. Sci.* 2014. № 1. S. 93–103.
2. Ysakov Iŭ.N., Butoryna A.K., Muraia L.S., Mashkyna O.S. O korreliatsiyi mezhdu kharakterom rosta materynskykh derev'ev sosny obyknovennoi v raznykh ekolohycheskykh usloviyakh y tsytolohycheskymy osobennostiamy ykh semennoho potomstva. Henetyka, selektsiya, semenovodstvo y yntroduktsiya lesnykh porod. Voronezh: TsNYLHyS, 1978. Vyp. 5. S. 7–12.
3. Osobennosti formirovaniya populatsiy sosny obyknovennoi. M.: Nauka, 1984. 128 s.
4. Petrova Y.V., Sannykov S.N., Ryabokon S.M., Duxarev V.A., Sannykova N.S. Genetycheskaya dyfferencyatsiya bolotnykh y sukhodolnykh populyatsiy sosny obyknovennoj v Zapadnoj Sybyry. *Ekologya*. 1989. № 6. S. 39–44.
5. Semerykov L.F., Semerykov V.L., Podogas A.V., Zhyvotovskiy L.A., Shurxal A.V. O strukture ekologo-genetycheskoj y zmenchivosti sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.). *Ekologya*. 1993. № 6. S. 34–40.
6. Dvornik V. Ya., Kotov V.S., Mikheenko. Genetic differentiation of adjacent populations of Scots pine *Pinus sylvestris* L. from different ecotopes. *Genetyka*. 1998. № 9. S. 1258–1263.
7. Muratova E.N., Sedelnikova T.S. Karyolohycheskoe yssledovanye bolotnykh y sukhodolnykh populatsiy sosny obyknovennoi (*Pinus sylvestris* L.). *Ekolohiya*. 1993. № 6. S. 41–50.
8. Sedelnikova T.S., Muratova E.N. Karyological studies of “witches’-broom” type *Pinus sylvestris* (Pinaceae) from a bog. *Botan. zhurn.* 2001. T. 86, № 12. S. 50–60.
9. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. Ecotopic differentiation of yellow-anthered and red-anthered forms of Scots pine by karyological and traits and nuclear DNA content. *Biol. Bull.* 2015. Vol. 42, № 5. P. 401–410. doi: 10.1134/S106235901505012X.
10. Pimenov A.V., Sedelnikova T.S. Mitotic anomalies in *Pinus sylvestris* (Pinaceae) seedlings from drained eutrophic bog. *Botan. zhurn.* 2006. T. 91, № 10. S. 1537–1544.
11. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. Chromosomal mutations in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in a hydromorphic environment: First case of a giant chromosome detection. *Biol. Bull.* 2010. Vol. 37, № 4. P. 351–356. doi: 10.1134/S1062359010040047.
12. Larionova A.Ya., Ekart A.K. Isoenzyme Diversity and Differentiation of Marsh Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) Populations in The Western Siberia. *Eurasian J. For. Res.* 2011. 14–1. P. 21–28.
13. Sedelnikova T.S., Muratova E.N. Specific Karyological Features of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in Western Siberian Bogs. *Rus. J. of Ecol.* 2002. Vol. 33, 5. P. 303–308. doi: 10.1023/A:1020232524851.
14. Sedelnikova T.S., Muratova E.N., Pimenov A.V., Efremov S.P. Karyological features of bog and dry valley populations of *Picea obovata* in West Siberia. *Botan. zhurn.* 2004. T. 89, № 5. S. 718–733.
15. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. Karyological study of swamp and dry valley populations of *Larix sibirica* (Pinaceae) from West Siberia. *Botan. zhurn.* 2005. T. 90, № 4. S. 582–593.
16. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. A karyological study of swamp and dry valley populations of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.). *Biol. Bull.* 2005. Vol. 32, 1. P. 16–21. doi: 10.1007/s10525-005-0004-7.
17. Mikheeva N.A., Muratova E.N. Karyological studies of two populations of *Juniperus communis* L. in West Siberia. *Tsytolohiya*. 2005. T. 47, № 8. C. 747–752.
18. Oreshkova N.V., Sedelnikova T.S., Pimenov A.V., Efremov S.P. Analysis of genetic structure and differentiation of the bog and dry land populations of *Pinus sibirica* Du Tour based on nuclear microsatellite loci. *Rus. J. Gen.* 2014. Vol. 50, № 9. P. 934–941. doi: 10.1134/S1022795414090105.
19. Sheikyna O.V., Demakov Iŭ.P., Hladkov Iŭ.F., Unzhynyna O.V. Henetycheskaia yzmenchivost' y dyfferentsiatsiya sukhodolnoi y bolotnoi tšenopopulatsiy sosny obyknovennoi v Respublyke Maryi El. Nauchn. zhurn. KubHAU. 2013. № 94 (10). S. 1–12.
20. Oreshkova N.V., Sedelnikova T.S., Pimenov A.V. Poy'sk novyx my'toxondry'alnykh y xloroplastnykh my'krosately'nykh markerov dlya genetycheskoy yssledovaniya populyatsiy sosny sybyrskoj kedrovoj v zapadnoj Sybyry. *Fakty eksperymental'noi evolyucii organizmiv*. Kyev: Logos, 2015. T. 17. S. 79–81.

SEDEL'NIKOVA T.S.

Sukachev Institute of Forest SBRAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS»,
Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru

DEVELOPMENT OF CARYOLOGICAL AND MOLECULAR-GENETIC INVESTIGATIONS OF WETLAND AND DRYLAND POPULATIONS OF CONIFERS

Aim. On the basis of studies which carried out by various authors, regularities of karyotypic and genetic divergence of populations of conifers growing in wetlands and dry lands are analyzed. **Methods.** The karyological and molecular-genetic methods of analysis are used. **Results.** Data are obtained on possible ways of evolution of karyotypes, consisting in changes in the number of chromosomes, the size and morphology of chromosomes, the number of secondary constrictions in chromosomes, the spectrum of chromosome rearrangements, and the frequency of their occurrence, distinguishing wetland populations of conifers species from dry land ones. With the help of isozyme markers and markers of nuclear and cytoplasmic genomes differences in the genetic structure of conifers populations from wetlands and dry lands are revealed. **Conclusions.** The genotypic structure of conifers species in wetlands and dry lands, caused by different vector of natural selection in contrasting ecological conditions of growth, differs significantly, and their karyotyp-

ic and genetic differentiation corresponds to the level of populations and groups of populations.

Keywords: populations of conifers, wetlands, dry lands, karyological and molecular-genetic markers.

СЕДЕЛЬНИКОВА Т.С.

Институт лісу ім. Сукачева СО РАН, Федеральний науковий центр «Красноярський науковий центр СО РАН», Росія, 660036, м. Красноярськ, Академгородок, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru

РОЗВИТОК КАРІОЛОГІЧНИХ І МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БОЛОТНИХ І СУХОДІЛЬНИХ ПОПУЛЯЦІЙ ХВОЙНИХ

Мета. На підставі проведених різними авторами досліджень проаналізовано закономірності каріотипової і генетичної дивергенції популяцій хвойних, які ростуть на болотах і суходолах. **Методи.** Застосовані каріологічний і молекулярно-генетичний методи аналізу. **Результати.** Отримано дані про можливі шляхи еволюції каріотипів, що полягають у зміні числа хромосом, розмірів і морфології хромосом, кількості вторинних перетяжок у хромосомах, спектру хромосомних перебудов і частоти їх зустрічальності, і відрізняють болотні популяції видів хвойних від суходільних. За допомогою ізоферментних маркерів і маркерів ядерного і цитоплазматичного геномів виявлено відмінності генетичної структури болотних і суходільних популяцій хвойних. **Висновки.** Генотипова структура видів хвойних на болотах і суходолах, обумовлена різним вектором природного відбору в контрастних екологічних умовах зростання, суттєво відрізняється, а їх каріотипова і генетична диференціація відповідають рівню популяцій і груп популяцій.

Ключові слова: популяції хвойних, болота, суходіл, каріологічні і молекулярно-генетичні маркери.