

УДК 581.192

А.А. Селиверстова, Л.Н. Зибарева, В.И. Еремина

Сибирский ботанический сад
Томского государственного университета, г. Томск, Россия

Закономерности распространения экидистероидов в растениях секции *Otites* *Oth* рода *Silene* L.: хемотаксономический подход

Проведено сравнение различных систематик секции *Otites* *Oth*, описанных в отечественной и зарубежной литературе. Показано, что в настоящее время нет единого взгляда на классификацию видов как в отдельных секциях, так и в роде *Silene* L. в целом. Рассмотрена тенденция выделения секции *Otites* в род *Otites* *Adans*. Приведены результаты хемотаксономического изучения некоторых видов секции *Otites* рода *Silene* L. Проанализирован экидистероидный профиль *Silene colporphylla* *Wrigley*, полученный с помощью методов ВЭЖХ и ВЭЖХ/МС. Выделены и идентифицированы мажорные экидистероиды вида (20-гидроксизекдизон, полиподин В, экидизон, 2-дезоксизекдизон, 2-дезоксизекдизон, интегристерон А). Выявлены основные закономерности распространения экидистероидов, характерные для некоторых видов секции *Otites* (*Silene sendtneri* *Boiss.*, *Silene roemerii* *Friv.*, *Silene otites* *Wibel.*, *Silene pseudotites* *Besser. ex Reichenb.*, *Silene colporphylla*.). Рассмотрена закономерность распределения различных 26-оксипроизводных экидистероидов в некоторых видах рода *Silene*. Показана возможность применения фитоэкидистероидов в качестве таксономических маркеров.

Ключевые слова: экидистероиды; хемосистематика; род *Silene*; *Silene colporphylla*; гвоздичные; *Otites* *Oth*.

Введение

Виды рода *Silene* L. (Caryophyllaceae) – смолевки – являются сверхконцентраторами биологически активных соединений (БАВ), таких как фенилпропаноиды, тритерпеновые сапонины, экидистероиды [1]. Смолевки используются в народной медицине и сельском хозяйстве, являются перспективными источниками БАВ для получения фитопрепаратов разнообразного физиологического действия [2]. Многие виды *Silene* успешно адаптируются к различным климатическим условиям с сохранением способности к биосинтезу БАВ [3].

Мнения разных авторов о количестве и составе секций крупнейшего рода *Silene* расходятся. В настоящее время род насчитывает, по некоторым оценкам, до 700 видов [4]. В состав рода одними авторами были внесены такие рода, как *Melandrium* *Roehl* [5], другими – *Lychnis* L., *Cucubalus* L. [4]. Главной

причиной разногласий по этому вопросу, по всей вероятности, являются естественный полиморфизм рода, наличие гибридов близкородственных видов, сложная система внутренней классификации, включающая неоднозначную систему подродов, секций и подсекций. Зачастую причиной такого внутреннего деления является отсутствие хотя бы одного признака, позволяющего с уверенностью провести границу между близкими секциями или родами.

Для решения возникших проблем систематики недостаточно применения только эколого-географических и анатомо-морфологических критериев, необходим комплексный подход, включающий наряду с указанными критериями и биохимические, молекулярно-генетические характеристики видов. В настоящее время исследователи часто привлекают хемосистематику при решении спорных вопросов о статусе некоторых видов. Такая потребность возникла при изучении многочисленного рода *Silene*, поскольку его систематика довольно сложная и нечеткая. В ряде работ доказана возможность применения анализа содержания вторичных метаболитов (флавоноидов, три-терпеновых сапонинов) [6, 7] для решения спорных вопросов в отношении статуса как отдельных видов, так и близкородственных секций, родов. Ранее на примере секции *Sclerocalycinae* рода *Silene* было показано, что экдистероиды могут быть использованы в качестве хемотаксономических маркеров [8].

В данной работе рассмотрена одна из наиболее спорных секций рода *Silene* – *Otites* Otth. Спорадическое распространение видов секции обуславливает образование полиморфных форм и гибридов между близкородственными видами. Это в значительной мере затрудняет и усложняет систематику рода *Silene* в целом.

Целью работы является хемотаксономическое изучение некоторых видов секции *Otites* рода *Silene* и сравнение их экдистероидного состава.

Материалы и методики исследования

В качестве объектов исследования использованы следующие виды *Silene*, культивируемые в Сибирском ботаническом саду: *Silene colpophylla* Wrigley, *Silene sendtneri* Boiss., *Silene roemerii* Friv., *Silene otites* Wibel., *Silene pseudotites* Besser. ex Reichenb.

S. colpophylla – эндемик, произрастающий в юго-восточной части Франции и на сопредельных территориях. Семена растений получены из ботанического сада Парижа (Muséum National d'Histoire Naturelle, France). Культивируются в Сибирском ботаническом саду ТГУ (г. Томск) с 2009 г. В условиях Западной Сибири ведет себя как двулетнее травянистое растение с прямостоящими стеблями. Высота надземной части 70–90 см.

S. sendtneri – эндемик восточной части Балканского полуострова. Семена растений получены из ботанического сада Галле (Botanischer Garten der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Germany). Культивируются в Сибирском ботаническом саду ТГУ (г. Томск) с 1994 г. В условиях Западной

Сибири ведет себя как многолетнее травянистое растение с прямостоящими стеблями. Высота надземной части 40–60 см.

S. roemerii – эндемик Балканских гор, произрастающий в центральной и северной части Италии. Семена растений получены из ботанического сада Берлина (Botanische Garten Berlin-Dahlem, Germany). Культивируются в Сибирском ботаническом саду с 1994 г. В условиях Западной Сибири ведет себя как многолетнее травянистое растение с прямостоящими стеблями. Высота надземной части 40–60 см.

S. otites – широко распространенный вид в центральной и восточной Европе. Семена растений получены из ботанического сада Берлина (Botanische Garten Berlin-Dahlem, Germany). Культивируются в Сибирском ботаническом саду с 1997 г. В условиях Западной Сибири ведет себя как двулетнее травянистое растение с прямостоящими стеблями. Высота надземной части 30–50 см.

S. pseudotites – вид, произрастающий в северной Италии и на северо-востоке Франции. Семена растений получены из ботанического сада Нанси (Conservatoire and Jardin Botaniques de Nancy, France). Культивируются в Сибирском ботаническом саду с 1997 г. В условиях Западной Сибири ведет себя как двулетнее травянистое растение с прямостоящими стеблями. Высота надземной части 30–50 см.

Растения всех указанных видов проходят весь вегетативный цикл: на первом году жизни достигают виргинильной стадии развития, а на втором – генеративной. В конце второго года формируются полноценные семена. Цветение начинается во второй половине июня – начале июля и заканчивается в начале августа.

Извлечение экидистероидов из *S. colpophylla*, *S. sendtneri*, *S. roemerii* проводили исчерпывающей экстракцией измельченного воздушно-сухого сырья (масса 180,0; 24,5; 46,0 г соответственно) 70%-ным этанолом при нагревании до 55°C. Этанольный экстракт концентрировали под вакуумом при температуре 40°C вследствие лабильности стероидных соединений. Концентрированный остаток разбавляли водой в соотношении 1:5 и очищали от липофильных веществ однократной экстракцией н-гексаном. Экидистероиды из очищенного экстракта многократно извлекали н-бутанолом. Объединенные бутанольные фракции исследуемых видов концентрировали до смолообразного состояния (масса 20,7; 3,6; 5,7 г соответственно).

Концентрированный остаток экстракта *S. colpophylla* растворяли в системе растворителей хлороформ – этанол (9:1). Далее хлороформно-этанольную фракцию бутанольного экстракта (далее сумма экидистероидов) нанесли на силикагель марки КСКГ (ХромАналит, Россия) с размером частиц 0,10–0,16 мм и подвергали многократному хроматографическому разделению на колонках. В качестве элюентов использовали системы растворителей: хлороформ – этанол с увеличением полярности от 15:1 до 1:1. Последние фракции были получены при промывании колонки 70%-ным этанолом.

Контроль полученных фракций осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках «Sorbfil UV 254» (Imid Ltd., Россия). Индивидуальные соединения перекристаллизовывали из системы растворителей этилацетат – этанол в соотношении 7:1 и 5:1.

Анализ с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) выполнен на жидкостном хроматографе «Agilent 1100» (Agilent Technology Inc., USA) с диодно-матричным детектором. Хроматографическая колонка ZORBAX Eclipse XDB C8; 4,6×150 мм, размер зерна сорбента 5 мкм. Градиентное элюирование вели системой растворителей метанол – 0,1% трифторуксусная кислота от 2 до 100% метанола; скорость элюирования 0,8 мл/мин. Аналитическая длина волны $\lambda_{\max} = 254$ нм для регистрации фитоэкдистероидов.

ВЭЖХ/МС анализ проводили на жидкостном хроматографе «Agilent 1200» (Agilent Technology Inc., USA) с диодно-матричным детектором и гибридным квадруполь-времяпролетным масс-спектрометром micrOTOF-Q (Bruker Daltonics, USA). Колонка: Zorbax SB-C18; 2,1×250 мм. Элюент: 2% HCOOH-CH₃OH (линейный градиент содержания ACN от 10 до 90% с 0-й до 20-й минуты). Скорость потока: 0,2 мл/мин. Рабочие параметры масс-детектирования: химическая ионизация и электростатическое распыление при атмосферном давлении (APCI pos. и API-ES); сканирование положительных и отрицательных ионов в диапазоне $m/z = 100\text{--}3\ 000$; поток газа-осушителя (азот): 4 л/мин, температура 220°C.

Данные об экдистероидном составе *S. otites*, *S. pseudotites* взяты из литературных источников [15, 17].

Результаты исследования и обсуждение

Секция *Otites* наиболее близка двум родственным секциям – *Holopetalae* Schischk. и *Balcanosilene* Šourková, которые объединяют с секцией *Otites* в подрод *Otites* Peterm. [5, 9–13]. Все виды трех данных секций имеют одинаковое строение лепестка и очень близкое строение соцветий [14]. В табл. 1 приведены некоторые виды секции *Otites* согласно классификации, указанной авторами [5, 9–14].

Исследователи рода *Silene* неоднозначно проводят границу между секциями. Это хорошо видно на примере *S. sibirica* (L.) Pers., которую различные авторы относят как к секции *Otites*, так и к секции *Holopetalae* Schischk. ex Chowdhuri. Во «Flora Europaea» [5] этот вид отнесен к секции *Otites*, а в обзоре, представленном Д.Л. Белкиным [9], – к *Holopetalae*. Во «Флоре Восточной Европы» *S. sibirica* указана как *O. sibirica* (L.) Raf., в обзоре Г.А. Лазькова [14] – как *S. holopetala* Ledeb.

Интересна также тенденция, прослеживающаяся в современной литературе, по выделению секции *Otites* из рода *Silene* и присоединению ее к роду *Otites* Adans (ушанки). Из табл. 1 видно, что одни авторы признают как

Т а б л и ц а 1 / Table 1

Систематика видов секции *Orites* Отт рода *Silene* и рода *Orites* Аданс /
Systematics of species of the section *Orites* Otth. genus *Silene* and genus *Orites* Adans

Flora Europaea, 1993 [5]	Белкин Д.Л. (Горный Алтай), 2009 [9] / Belkin DL. (Altai Mountains)	Флора Сибири, 1986 [10] / Flora of Siberia, 1986 [10]	Флора Восточной Европы, 2004 [11] / Flora of Eastern Europe, 2004 [11]	Лазьков Г.А., 1998, 2003 [13, 14] / Laz'kov GA, 1998, 2003 [13, 14]
<i>Silene sibirica</i> (L.) Pers.	<i>S. sibirica</i> (L.) Pers. (<i>S. holopetalala</i> Bunge, <i>Cucubalus sibiricus</i> L.) Вид внесен в секцию / In section <i>Holopetalalae</i> Schischk. ex Chowdhuri	<i>S. sibirica</i> (L.) Pers. (<i>Cucubalus sibiricus</i> L.)	<i>O. sibirica</i> (L.) Raf. (<i>S. sibirica</i> (L.) Pers., (<i>S. polaris</i> Kleopow, <i>S. holopetalala</i> Lazkov) Вид внесен в секцию / In section <i>Holopetalalae</i> (Schischk. ex Chowdhuri) Tzvel.	<i>S. holopetalala</i> Ledeb. (<i>S. sibirica</i> (L.) Pers., <i>Cucubalus sibiricus</i> L., <i>S. holopetalala</i> auct. non Bunge, включая (Including) <i>O. holopetalala</i> (Bunge) Tzvel) Вид внесен в секцию / In section <i>Holopetalalae</i> Schischk. ex Chowdhuri
–	–	–	<i>O. sibirica</i> Subsp. <i>kleopovii</i> Tzvel. Вид внесен в секцию / In section <i>Holopetalalae</i> (Schischk. ex Chowdhuri) Tzvel. Подвид внесен в секцию / In section <i>Holopetalalae</i> (Schischk. ex Chowdhuri) Tzvel.	–
<i>S. roemerii</i> Friv. (<i>Orites roemerii</i> (Friv.) J. Holub) Вид внесен в секцию / In section <i>Orites</i>	–	–	–	<i>S. roemerii</i> Friv. Вид внесен в секцию / In section <i>Capitellatae</i> (Rohrb.) Schischk.
<i>S. sendtneri</i> Boiss. (<i>O. sendtneri</i> (Boiss.) J. Holub) Вид внесен в секцию / In section <i>Orites</i>	–	–	–	<i>S. sendtneri</i> Boiss. Вид внесен в секцию / In section <i>Capitellatae</i> (Rohrb.) Schischk.

Продолжение табл. 1 / Table 1 (continued)

Flora Europaea, 1993 [5]	Белкин Д.Л. (Горный Алтай), 2009 [9] / Belkin DL. (Altai Mountains)	Флора Сибири, 1986 [10] / Flora of Siberia, 1986 [10]	Флора Восточной Европы, 2004 [11] / Flora of Eastern Europe, 2004 [11]	Лазьков Г.А., 1998, 2003 [13, 14] / Laz'kov GA, 1998, 2003 [13, 14]
<i>S. ventricosa</i> Adamović (<i>O. ventricosa</i> Adamović) J. Holub)	–	–	–	–
<i>S. borysthenea</i> (Gruner) Walters (<i>O. borysthenea</i> (Gruner) Klokov); <i>S. otites</i> var. <i>borysthenea</i> Gruner; <i>S. parviflora</i> (Ehrh.) Pers.; <i>S. ebr-bitiana</i> Soó)	<i>S. borysthenea</i> (Gruner) Walters	–	<i>O. borysthenea</i> (Gruner) Klokov (<i>S. otites</i> (L.) Wib. var. <i>borysthenea</i> (Gruner) Chater et Walters, <i>S. parviflora</i> auct. non Pers., <i>O. parviflora</i> auct. non (Hornem.) Raf.)	<i>S. borysthenea</i> (Gruner) Walters
<i>S. media</i> (Litv.) Kleopow	–	<i>O. medius</i> (Litv.) Klokov (<i>S. otites</i> var. <i>media</i> Litv.)	<i>O. media</i> (Litv.) Klokov. (<i>S. otites</i> (L.) Wib. var. <i>media</i> , <i>S. media</i> (Litv.) Kleopow)	–
<i>S. hellmannii</i> Claus (<i>O. graniticola</i> Klokov) (Включает (Including) <i>O. krymensis</i> Kleopow)	–	–	<i>O. hellmannii</i> (Claus) Klokov. (<i>S. hellmannii</i> Claus, <i>O. graniticola</i> Klokov, <i>S. graniticola</i> (Klokov) Šourkova)	–
<i>S. cyri</i> Schischkin in Grossh.	–	–	<i>O. cyri</i> (Schischk.) Grossh. (<i>S. cyri</i> Schischk.)	–
<i>S. velebitica</i> (Degen) Wrigley (<i>S. otites</i> var. <i>velebitica</i> Degen; <i>O. velebitica</i> (Degen) J. Holub)	–	–	–	–
<i>S. wolgensis</i> (Hornem.) Oth in DC. (Включает (Including) <i>O. orae-synaschicae</i> Klokov)	<i>S. wolgensis</i> (Willd.) Bess. ex Spreng.	<i>O. wolgensis</i> (Hornem.) Grossh. (<i>Viscago wolgensis</i> Hornem., <i>Cucubalus wolgensis</i> Willd., <i>S. wolgensis</i> (Hornem.) Oth., <i>S. effuse</i> Oth., <i>S. otites</i> subsp. <i>wolgensis</i> (Hornem.) Schmalh.)	<i>O. wolgensis</i> (Hornem.) Grossh. (<i>Viscago wolgensis</i> Hornem., <i>Cucubalus wolgensis</i> Willd., <i>S. wolgensis</i> (Hornem.) Oth., <i>S. effuse</i> Oth., <i>S. otites</i> subsp. <i>wolgensis</i> (Hornem.) Schmalh.)	<i>S. wolgensis</i> (Hornem.) Bess. ex Spreng.

Продолжение табл. 1 / Table 1 (continued)

Flora Europaea, 1993 [5]	Белкин Д.Л. (Горный Алтай), 2009 [9] / Belkin DL. (Altai Mountains)	Флора Сибири, 1986 [10] / Flora of Siberia, 1986 [10]	Флора Восточной Европы, 2004 [11] / Flora of Eastern Europe, 2004 [11]	Лазьков Г.А., 1998, 2003 [13, 14] / Laz'kov GA, 1998, 2003 [13, 14]
<i>S. baschkirorum</i> Janisch. (Включает (Including) <i>O. polaris</i> Kleopow)	<i>S. baschkirorum</i> Janisch.	<i>O. baschkirorum</i> (Janisch.) Holub	<i>O. baschkirorum</i> (Janisch.) Holub (<i>S. baschkirorum</i> Janisch., <i>S. wolgensis</i> auct. non (Hornem.) Grossh.)	<i>S. baschkirorum</i> Janisch.
<i>S. otites</i> Subsp. <i>otites</i> (L.) Wibel	–	–	<i>O. cuneifolia</i> Raf. (<i>Cucubalus otites</i> L., <i>S. pseudotites</i> non Bess., <i>S. wolgensis</i> non (Hornem.) Oith)	<i>S. otites</i> (L.) Wibel
<i>S. otites</i> Subsp. <i>hungarica</i> Wrigley	–	–	–	–
<i>S. pseudotites</i> Besser ex Reichenb	–	–	–	<i>S. pseudotites</i> Besser ex Reichenb
<i>S. donetzica</i> Kleopow (<i>S. sillingeri</i> Hendrych).	–	–	<i>O. donetzica</i> (Kleopow) Klokov (<i>S. donetzica</i> Kleopow, <i>S. densiflora</i> auct. non D'Urv.)	–
<i>S. colpophylla</i> Wrigley	–	–	–	–
<i>S. densiflora</i> D'Urv. (<i>O. dolichocarpa</i> Klokov)	–	–	<i>O. densiflora</i> (D'Urv.) Grossh. (<i>S. densiflora</i> D'Urv., <i>S. otites</i> subsp. <i>densiflora</i> (D'Urv.) Aschers. et Graebn.)	<i>S. densiflora</i> D'Urv.
<i>S. exaltata</i> Friv. (<i>O. exaltata</i> (Friv.) J. Holub)	–	<i>O. exaltatus</i> (Friv.) Holub (<i>S. exaltata</i> Friv.)	–	–
<i>S. chersonensis</i> (Zapal) Kleopow (Включает (Including) <i>O. moldavica</i> Klokov)	–	–	<i>O. chersonensis</i> (Zapal.) Klokov (<i>S. densiflora</i> D'Urv. var. <i>chersonensis</i> Zapal., <i>S. densiflora</i> auct. non D'Urv., <i>S. exaltata</i> auct. non Friv., <i>S. media</i> (Litv.) Klokov, <i>S. exaltata</i> auct. non (Friv.) Holub)	–

Окончание табл. 1 / Table 1 (end)

Флора Европы, 1993 [5]	Белкин Д.Л. (Горный Алтай), 2009 [9] / Belkin D.L. (Altai Mountains)	Флора Сибири, 1986 [10] / Flora of Siberia, 1986 [10]	Флора Восточной Европы, 2004 [11] / Flora of Eastern Europe, 2004 [11]	Лазков Г.А., 1998, 2003 [13, 14] / Laz'kov G.A., 1998, 2003 [13, 14]
–	–	<i>O. polaris</i> (Kleopow) Holub (<i>S. polaris</i> Kleopow)	<i>O. polaris</i> (Kleopow) Holub (<i>S. polaris</i> Kleopow, <i>S. otites</i> subsp. <i>polaris</i> , <i>S. wolgensis</i> auct. non (Hornem.) Grossh.)	
–	–	–	<i>O. maeotica</i> Klokov (<i>S. maeotica</i> (Klokov) Czer.)	
–	–	–	<i>O. orae-syvashicae</i> Klokov (<i>S. orae-syvashicae</i> (Klokov) Czer., <i>O. wolgensis</i> auct. non (Hornem.) Grossh.)	
–	–	–	<i>O. moldavica</i> Klokov (<i>S. moldavica</i> (Klok.) Šourkova, <i>S. chersonensis</i> (Zapal) Kleopow)	
–	–	–	<i>O. krymensis</i> (Kleopow) Klokov (<i>S. krymensis</i> Kleopow)	
–	–	–	<i>O. eugeniae</i> (Kleopow) Klokov (<i>S. eugeniae</i> Kleopow, <i>S. pseudotites</i> non (Bess.) Klokov, <i>S. donezica</i> auct. non Kleopow)	
–	–	–	<i>O. dolichocarpa</i> Klokov (<i>S. dolichocarpa</i> auct. non D'Urv.)	
–	–	–	<i>O. klopotovii</i> Tzvel.	
–	–	–	<i>O. artemisietorum</i> Klokov (<i>S. artemisietorum</i> (Klokov) Czer., <i>S. chersonensis</i> (Zapal.) Kleopow subsp. <i>littoralis</i> Kleopow, <i>S. chersonensis</i> (Zapal) Kleopow)	

Примечание: «→» в таблице указаны виды, не встречающиеся в указанных обзорах и флорах, в скобках даны виды смолесов и ушанок, приведенных в качестве синонимичных. / Note: «→» in the Table indicates the species not encountered in the given studies and floras; *Silene* and *Orites* Adams species listed as synonymous are presented within brackets.

синонимичные разные виды смолёвок и расходятся во мнениях по поводу классификации указанной секции, в то время как другие [10–12] относят их к роду *Otites*. Так, *S. borysthénica*, *S. sibirica* и др. приводятся во «Flora Europaea» как смолёвки, тогда как во «Флоре Сибири», а также во «Флоре Восточной Европы» эти же виды приведены как ушанки [5, 10, 11].

Достаточно часто встречаются расхождения и в выделении отдельных подвидов или внесении их в состав других видов смолёвок. Во «Флоре Восточной Европы» *O. sibirica* subsp. *Kleopovii* Tzvel вынесен как отдельный подвид *O. sibirica*, в то время как в других источниках он не упоминается. Во «Flora Europaea» *S. chersonensis* (Zapal) Kleopow включает *O. moldavica* Klokov, во «Флоре Восточной Европы» и обзоре Н.Н. Цвелева [12] *O. moldavica* Klokov отнесен к роду *Otites* как самостоятельный вид. То же самое можно заметить в отношении *O. krymensis*, *O. polaris*, *O. orae-syvaschicae*. Еще одним интересным моментом является синонимичность отдельных видов смолёвок и ушанок, приведенных в различных источниках. Так, *S. parviflora* (Ehrh.) Pers. во «Flora Europaea» приведена как синоним вида *S. borysthénica* (Gruner) Walters и синоним вида *O. borysthénica* (Gruner) Klokov, в то время как во «Флоре Восточной Европы» *S. parviflora* (Ehrh.) Pers. указывается как самостоятельный вид, от которого первый отличается более мощным каудексом и стеблями с более многочисленными узлами, сильно удлинёнными соцветиями и почти шаровидными коробочками [11].

Одним из распространенных способов хематаксонического изучения является определение соответствующих хематаксонических маркеров из числа вторичных метаболитов. Как показано ранее на примере секции *Sclerocalycinae* [8], фитоэкистероиды информативны в качестве маркеров. Эта группа веществ имеет весьма широкое разнообразие химических структур, доказана их устойчивая внутривидовая и внутриродовая корреляция. Одновременно в одном виде может присутствовать до 30 различных экистероидов и их производных (в *S. otites* – более 30) [15].

Проведенные хроматографические исследования позволили составить экистероидный профиль вида *S. colpophylla*, в котором установлено методами УФ и масс-спектрометрии присутствие 14 экистероидов. Сравнение со стандартами показало, что выделенными веществами являются: 20-гидроксиэкизон, полиподин В, экизон, 2-дезоксизэкизон, 2-дезоксиз-20-гидроксиэкизон, интегристерон А. Установка структур других выявленных соединений является следующим этапом исследования химического состава данного вида.

В табл. 2 приведены литературные и экспериментальные данные экистероидных профилей близкородственных видов секции *Otites*. Особый интерес представляет сравнительный анализ состава экистероидов *S. otites*, *S. colpophylla* и *S. pseudotites*, поскольку последний вид является гибридом первых двух.

Полученные результаты свидетельствуют о сходстве составов мажорных компонентов экдистероидной суммы – *S. otites*, *S. pseudotites*, *S. colpophylla*, *S. sendtneri* и *S. roemeri*. Основными мажорными соединениями являются: 20-гидроксиэкдизон, полиподин В, 2-дезоксизэкдизон, 2-дезоксиз-20-гидроксиэкдизон. Однако отсутствие экдизона в *S. sendtneri* и *S. roemeri* может быть положительным аргументом в пользу систематики Г.А. Лазькова. Из табл. 2 видно, что полиподин В отсутствует в *S. otites*, но синтезируются в *S. pseudotites* и *S. colpophylla*. Этот факт может свидетельствовать о наследовании признака от *S. colpophylla*. Сидистерон в *S. pseudotites* синтезируются, вероятно, благодаря материнскому виду *S. otites*, тогда как в *S. colpophylla* этот экдистероид пока не обнаружен.

Таблица 2 / Table 2

**Экдистероидные профили некоторых видов секции *Otites* Otth /
Ecdysteroid profiles of some species of the section *Otites* Otth**

Экдистероиды / Ecdysteroids	<i>S. otites</i> [15]	<i>S. pseudo-</i> <i>tites</i> [17]	<i>S. colpophylla</i>	<i>S. sendtneri</i> [16]	<i>S. roemeri</i> [17]
20-гидроксиэкдизон / 20-hydroxyecdysone	+	+	+	+	+
Полиподин В / Polypodine B	–	+	+	+	+
Экдизон / Ecdysone	+	+	+	–	–
2-Дезоксизэкдизон / 2-deoxyecdysone	+	+	+	+	+
2-Дезокси-20- гидроксиэкдизон / 2-deoxy-20- hydroxyecdysone	+	+	+	+	+
Интегристерон А / Integristerone A	+	–	+	–	+
2-Дезокси- интегристерон А / 2-deoxyintegristerone A	+	+	–	–	–
Сидистерон / Sidisterone	+	+	–	–	–
2-Дезокси-20, 26-дигидроксиэкдизон / 2-deoxy-20,26- dihydroxyecdysone	–	+	–	–	–
20,26-Дигидрокси- экдизон / 20,26-dihydroxyecdysone	+	–	–	–	–

Примечание. Знаком «+» обозначены экдистероиды, обнаруженные в видах смолёвок, «–» – экдистероиды, не обнаруженные в видах смолёвок. /

Note: «+» marks ecdysteroids found in *Silene* species, «–» marks ecdysteroids not found in *Silene* species.

Биосинтез различных 26-оксипроизводных экдистероидов, как отмечено ранее, является характерной особенностью рода *Silene* [15, 17]. Поскольку в родственных видах *S. otites* и *S. pseudotites* обнаружены 26-оксипроизвод-

ные (20,26-дигидроксиэкдизон и 2-дезоксидигидроксиэкдизон соответственно), то возможно в дальнейшем среди неидентифицированных минорных экдистероидов *S. colporphylla* удастся выявить 26-гидроксиэкдистероиды.

Таким образом, показано, что фитоэкдистероиды можно использовать в качестве хемотаксономических маркеров для видов секции *Otites* рода *Silene*.

Заключение

Выполнено сравнение различных систематик секции *Otites*, существующих на данный момент в литературе. Проведено хемотаксономическое изучение некоторых видов рода *Silene* секции *Otites*: *S. otites*, *S. pseudotites*, *S. colporphylla*, *S. sendtneri*, *S. roemerii*. Проанализирован экдистероидный профиль *Silene colporphylla*. Обнаружено 14 различных экдистероидов, 6 из них (20-гидроксиэкдизон, полиподин В, экдизон, 2-дезоксидигидроксиэкдизон, интегристерон А) идентифицированы. Выявлены закономерности распространения экдистероидов, характерные для секции *Otites*. Сходство состава мажорных экдистероидных компонентов *S. otites*, *S. pseudotites*, *S. colporphylla* подтверждает близкородственное положение данных видов.

Литература

1. Zibareva L., Volodin V., Saatov Z., Savchenko T., Whiting P., Lafont R., Dinan L. Distribution of phytoecdysteroids in the *Caryophyllaceae* // *Phytochemistry*. 2004. Vol. 64, № 2. P. 499–517.
2. Дармограй В.Н., Серова Т.Г. Фитохимическое изучение растений рода *Oberna* Adams. семейства *Caryophyllaceae* Juss. // *Современные наукоемкие технологии*. 2004. № 5. С. 111.
3. Зибарева Л.Н., Лафон Р., Дайнен Л. Влияние экологических условий Зап. Сибири на аккумуляцию экдистероидов в растениях, интродуцированных из ботанических садов Западной Европы // *Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте*. Томск, 2007. С. 132–135.
4. Greuter W. *Silene* (*Caryophyllaceae*) in Greece: a subgeneric and sectional classification // *Taxon*. 1995. Vol. 44. P. 543–581.
5. Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D. A. *Flora Europaea*. United Kingdom : Cambridge University Press, 1993. Ed 2. Vol. 1. 629 p.
6. Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. Новосибирск : Наука, 2004. 204 с.
7. Шадрин Д.М., Пылина Я.И., Родионов А.В., Володина С.О., Ткаченко К.Г., Володин В.В. Закономерности распространения сапонинов и экдистероидов в растениях: хемотаксономический и молекулярно-генетические подходы // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т. 12, № 1 (3). С. 857–862.
8. Zibareva L., Yeriomina V.I., Munkhjargal N., Girault J.-P., Dinan L., Lafont R. The Phytoecdysteroid Profiles of 7 Species of *Silene* (*Caryophyllaceae*) // *Archives of insect biochemistry and physiology*. 2009. Vol. 72, № 4. P. 234–248.

9. Белкин Д.Л. Род *Silene* L. (смолевка) в Алтайской горной стране // Turczaninowia. 2009. Т. 12, № 3–4. С. 5–16.
10. Флора Сибири / под ред. Л. И. Малышевой, Г. А. Пешкова. Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1993. Т. 6. 310 с.
11. Флора Восточной Европы / Под ред. Н.Н. Цвелева. М. ; СПб. : Т-во науч. изд. КМК, 2004. Т. XI. 536 с.
12. Цвелев Н.Н. О родах трибы смолевковых (Caryophyllaceae) в восточной Европе // Новости систематики высших растений. 2001. Т. 33. С. 90–113.
13. Зибарева Л.Н., Еремина В.И., Иванова Н.А., Лазьков Г.А. Распределение фитоэктистероидов в трибе *Sileneae* Dumort. (Caryophyllaceae Juss.) // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39, вып. 3. С. 45–53.
14. Лазьков Г.А. Обзор секции *Holopetalae* рода *Silene* (Caryophyllaceae) // Ботанический журнал. 1998. Т. 83, № 5. С. 89–95.
15. Bathori M., Girault J.-P., Kalasz H., Mathe I., Dinan L.N., Lafont R. Complex phytoecdysteroid cocktail of *Silene otites* (Caryophyllaceae) // Archives of Insect Biochemistry and Physiology. 1999. Vol. 41. P. 1–8.
16. Meng J., Whiting P., Zibareva L., Bertho G., Girault J.-P., Lafont R., Dinan L. Identification and quantitative analysis of the phytoecdysteroids in *Silene* species (Caryophyllaceae) by high performance liquid chromatography. Novel ecdysteroids from *Silene pseudotites* // J. Chromatography. 2001. Vol. 935. P. 309–319.
17. Zibareva L. Distribution and levels of phytoecdysteroids in plants of genus *Silene* during development // Archives of insect biochemistry and physiology. 2000. Vol. 43. P. 1–8.

Авторский коллектив:

Селиверстова Анна Александровна – сотрудник лаборатории фотохимии Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: anna.july@sibmail.com

Зибарева Лариса Николаевна – д-р хим. наук, профессор, зав. лабораторией фотохимии Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: zibareva.lara@yandex.ru

Еремина Валентина Ивановна – учебный мастер лаборатории фотохимии Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

Поступила 16.08.2013 г.; повторно 20.06.2014 г.; принята 17.07.2014 г.

Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 3 (27). P. 101–114

Anna A. Seliverstova, *Larisa N. Zibareva, Valentina I. Eremina

Laboratory of Photochemistry, Siberian Botanical Garden of Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.

E-mail: zibareva.lara@yandex.ru

**Patterns of phytoecdysteroids distribution in the plants of the section
Otites Otth genus *Silene* L.: chemotaxonomic approach**

Species of the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) contain a big quantity of biologically active substances such as phenylpropanoids, triterpene saponins and phytoecdysteroids. Many *Silene* species have successfully adapted to different climatic conditions while maintaining the ability to biosynthesis of biologically active substances. But classification of the genus is an enough challenging task for today. To

resolve problems of systematization, authors recommend applying not only ecology-geographical and anatomy-morphological criteria, but also a complex biochemical approach. The purpose of this work is chemotaxonomic studying of some species of sections *Otites* Otth of genus *Silene* and their composition of ecdysteroids.

We conducted a chemotaxonomic study of some species of the genus *Silene* and compared different systematics of *Otites* Otth section described in national and international literature. It is shown that there is currently no single view of classification of species, both in individual sections and in genus. We considered the tendency of section *Otites* separation in the genus *Otites* Adans and isolated and studied the phytoecdysteroids *Silene colpophylla* Wrigley, *Silene sendtneri* Boiss. and *Silene roemerii* Friv. The given results testify a similar composition of major components of the sum of ecdysteroids - *Silene otites* Wibel., *S. pseudotites* Besser. ex Reichenb., *S. colpophylla*, *S. sendtneri* и *S. roemerii*. These species are introduced into Siberian Botanical Garden of Tomsk State University. Plants of all specified species go through the whole vegetative cycle and reach the generative stage on the second year of life. At the end of the second year, viable seeds are formed. Flowering begins in the second half of June - the beginning of July and comes to an end in the beginning of August. We analyzed the ecdysteroid profile of *S. colpophylla* by HPLC and HPLC/MS methods. It is revealed that the given species synthesizes 14 ecdysteroids. Six ecdysteroids of the species were identified: 20-hydroxyecdysone, polypodine B, ecdysone, 2-deoxy-20-hydroxyecdysone, 2-deoxyecdysone and integristerone A. We detected the basic patterns of ecdysteroids distribution characteristic of some species (*S. sendtneri*, *S. roemerii*, *S. otitis*, *S. pseudotites*, *S. colpophylla*) of the section and analyzed the occurrence of different 26-oxyderivative ecdysteroids in some species of the genus *Silene*. The possibility of using ecdysteroids as chemotaxonomic markers was shown for section *Otites*.

The article contains 2 tables, 17 ref.

Keywords: ecdysteroids; chemosystematics; *Silene* L.; *Silene colpophylla* Wrigley; Caryophyllaceae; *Otites* Otth.

References

1. Zibareva L, Volodin V, Saatov Z, Savchenko T, Whiting P, Lafont R, Dinan L. Distribution of phytoecdysteroids in the Caryophyllaceae. *Phytochemistry*. 2004;64(2):499-517.
2. Darmogray VN, Serova TG. Fitokhimicheskoe izuchenie rasteniy roda *Oberna* Adans. semeystva Caryophyllaceae Juss. [Phytochemical study of plants of the genus *Oberna* Adans. of the family Caryophyllaceae Juss.] *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2004;5:111. In Russian
3. Zibareva LN, Lafont R, Dinan L. Vliyaniye ekologicheskikh usloviy Zap. Sibiri na akkumulirovaniye ekdisteroidov v rasteniyakh, introdutsirovannykh iz botanicheskikh sadov Zapadnoy Evropy [Influence of Western Siberia ecological conditions on ecdysteroid accumulation in plants introduced from botanical gardens of Western Europe]. *Aktual'nye problemy ekologii i prirodnopol'zovaniya Sibiri v global'nom kontekste* [In: Contemporary problems of ecology and nature management in a global context]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publshung House; 2007. p. 132-135. In Russian
4. Greuter W. *Silene* (Caryophyllaceae) in Greece: a subgeneric and sectional classification. *Taxon*. 1995;44:543-581.
5. Flora Europaea. Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Valentine DH, Walters SM, Webb DA, editors. 2nd ed. United Kingdom: Cambridge University Press; 1993. Vol. 1. 629 p.
6. Vysochina GI. Fenol'nye soedineniya v sistematike i filogenii semeystva grechishnykh [Phenolic compounds in systematics and phylogeny of the family Polygonaceae]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House; 2004. 204. In Russian

7. Shadrin DM, Pylina YaI, Rodionov AV, Volodina SO, Tkachenko KG, Volodin VV. Regularities of saponins and ecdysteroids distribution in plants: chemotaxonomical and molecular phylogenetic approaches. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2010;12(1(3)):857-862. In Russian
8. Zibareva L, Eremina VI, Munkhjargal N, Girault J-P, Dinan L, Lafont R. The Phytoecdysteroid Profiles of 7 Species of *Silene* (Caryophyllaceae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 2009;72(4):234-248. doi: [1002/arch.20331](https://doi.org/10.1002/arch.20331)
9. Belkin DL. Genus *Silene* L. in Altai mountain country. *Turczaninowia*. 2009;12(3-4):5-16. In Russian
10. Flora Sibiri [Flora of Siberia]. Vol. 6. Malysheva LI, Peshkova GA, editors. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House; 1993. 310 p. In Russian
11. Flora Vostochnoy Evropy [Flora of Eastern Europe]. Vol. XI. Tsvelev NN, editor. Moscow; Saint-Petersburg: Publishing House KMK, 2004. 536 p. In Russian
12. Tsvelev NN. O rodakh triby smolevkovykh (Caryophyllaceae) v vostochnoy Evrope [On the genera of the tribe Sileneae (Caryophyllaceae) in Eastern Europe]. *Novosti sistematiki vysshikh rasteniy*. 2001;33:90-113. In Russian
13. Zibareva LN, Eremina VI, Ivanova NA, Laz'kov GA. Distribution of phytoecdysteroids in the tribe *Sileneae* Dumort. the family *Caryophyllaceae*. *Rastitel'nye resursy*. 2003;39(3):45-54. In Russian
14. Laz'kov GA. Obzor seksii Holopetalae roda *Silene* (Caryophyllaceae) [Overview of the section *Holopetalae* of the genus *Silene* (Caryophyllaceae)]. *Botanicheskiy zhurnal*. 1998;83(5):89-95. In Russian
15. Bathori M, Girault J.-P, Kalasz H, Mathe I, Dinan LN, Lafont R. Complex phytoecdysteroid cocktail of *Silene otites* (Caryophyllaceae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 1999;41:1-8. doi: [10.1002/\(SICI\)1520-6327\(1999\)41:1<1::AID-ARCH2>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1999)41:1<1::AID-ARCH2>3.0.CO;2-R)
16. Meng J, Whiting P, Zibareva L, Bertho G, Girault J.-P, Lafont R, Dinan L. Identification and quantitative analysis of the phytoecdysteroids in *Silene* species (Caryophyllaceae) by high performance liquid chromatography. Novel ecdysteroids from *Silene pseudotites*. *Chromatography*. 2001;935:309-319. doi: [10.1016/S0021-9673\(01\)00893-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)00893-7)
17. Zibareva L. Distribution and levels of phytoecdysteroids in plants of genus *Silene* during development. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 2000;43:1-8. doi: [10.1002/\(SICI\)1520-6327\(200001\)43:1<1::AID-ARCH1>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(200001)43:1<1::AID-ARCH1>3.0.CO;2-D)

Received 16 August 2013;

Revised 20 June 2014;

Accepted 17 July 2014.

Seliverstova AA, Zibareva LN, Eremina VI. Patterns of phytoecdysteroids distribution in the plants of the section *Otites* of the genus *Silene* L.: chemotaxonomic approach. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;3(27):101-114. In Russian, English Summary.