

УДК 595.79(476)

СТРУКТУРА ПЫЛЬЦЕВОГО ГРУЗА ИМАГО ЖАЛОНОСНЫХ ПЕРЕПОНЧАТОКРЫЛЫХ (ACULEATA) – ПОСЕТИТЕЛЕЙ СОЦВЕТИЙ ИНВАЗИВНЫХ ЗОЛОТАРНИКОВ *SOLIDAGO CANADENSIS* L. s. l. В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Д. О. КОРОТЕЕВА¹⁾, А. А. ШЕЙКО¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В составе сообществ антофильных жалоносных перепончатокрылых – посетителей соцветий инвазивных золотарников *Solidago canadensis* L. s. l. в условиях Беларуси отмечены 44 вида из 20 родов, 11 семейств и 3 надсемейств. К числу многочисленных видов принадлежат шмели *Bombus terrestris* L. и *B. lapidarius* L., к числу обычных видов – осы *Philanthus triangulum* F., *Polistes dominula* Christ, *P. nimpha* Christ, пчела *Hylaeus communis* NyL. и шмель *B. ruderarius* Müller. Суммарное относительное обилие имаго этих видов составило 67 %. В структуре пыльцевого груза данных антофилов доля неконспецифической пыльцы варьировалась от 17 до 45 пыльцевых зерен на экземпляр и во всех случаях была меньше доли конспецифической пыльцы. В составе последней доли легко утрачиваемой и относительно легко утрачиваемой пыльцы, значимой для осуществления опыления у имаго всех видов, превышали долю трудно утрачиваемой пыльцы.

Ключевые слова: пыльцевой анализ; опыление; Apoidea; Vespoidea; антофильные насекомые; сообщества опылителей.

Образец цитирования:

Коротеева Д.О., Шейко А.А. Структура пыльцевого груза имаго жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий инвазивных золотарников *Solidago canadensis* L. s. l. в условиях Беларуси. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2022;2:73–81. <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-73-81>

For citation:

Koroteeva DO, Sheiko AA. Pollen cargo structure on Aculeata – visitors of alien *Solidago canadensis* L. s. l. inflorescences in Belarus. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022;2:73–81. Russian. <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-73-81>

Авторы:

Дарья Олеговна Коротеева – аспирантка кафедры зоологии биологического факультета. Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор С. В. Буга.
Анна Александровна Шейко – аспирантка кафедры зоологии биологического факультета. Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор С. В. Буга.

Authors:

Daria O. Koroteeva, postgraduate student at the department of zoology, faculty of biology. daryakoroteeva1996@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3010-6573>
Anna A. Sheiko, postgraduate student at the department of zoology, faculty of biology. sheiko7091@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-2519-5089>

POLLEN CARGO STRUCTURE ON ACULEATA – VISITORS OF ALIEN *SOLIDAGO CANADENSIS* L. s. I. INFLORESCENCES IN BELARUS

D. O. KOROTEEVA^a, A. A. SHEIKO^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: D. O. Koroteeva (daryakoroteeva1996@gmail.com)

Community structure of visitors to inflorescences of invasive goldenrods was investigated by sampling at 9 sites in Minsk city, Minsk and Mogilev regions in Belarus. A total 44 species of Aculeata including 1 species of Chrysoidea, 7 species of Vespoidea and 36 species of Apoidea were registered. Among them 2 species of bumblebees (*Bombus terrestris* L., *B. lapidarius* L.) were numerous, 2 species of Vespoidea (*Polistes dominula* Christ, *P. nimpha* Christ) and 3 species of Apoidea (*Philanthus triangulum* F., *Hylaeus communis* Nyl., *B. ruderarius* Müller) were common. Pollen cargo analysis revealed the predominance of easily lost and relatively easily lost conspecific pollen grains on the bodies of the imago of the all common and numerous species of visitors to inflorescences of invasive goldenrods.

Keywords: pollen cargo analysis; pollination; Apoidea; Vespoidea; anthophilous insects; pollinator communities.

Введение

Внедрение чужеродных для аборигенной флоры видов в растительные сообщества приводит к трансформации их структуры и нарушению стабильности и функционирования соответствующих природных комплексов. В частности, инвазивные виды способны нарушать трофические связи между аборигенными энтомофильными растениями и насекомыми-опылителями [1–3]. Внедрение растений-инвайдеров в естественные биоценозы ведет к изменению структуры гильдии опылителей энтомофильных растений и в целом негативно сказывается на биоразнообразии насекомых [4; 5].

К числу наиболее известных и широко распространенных в Беларуси растений-инвайдеров относится золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) североамериканского происхождения [6, с. 150–159]. Целенаправленные исследования позволили заключить, что произрастающие в Беларуси высокоинвазивные золотарники *S. canadensis* L. s. I. следует рассматривать в качестве самостоятельного таксона, морфологически отличного от родительского таксона *S. canadensis* L. s. str. [7].

Золотарники комплекса *S. altissima* L., к которому принадлежит *S. canadensis* L., – многолетние травянистые растения высотой до 280 см с прямостоячими, обычно опушенными, простыми стеблями и желтыми цветками (краевые цветки ложноязычковые, срединные цветки трубчатые). Корзинки мелкие, собраны в однобокие дугоподобные изогнутые кисти, которые образуют общее верхушечное соцветие пирамидальной формы. Цветение длится с июля по сентябрь, семянки обычно созревают с августа по октябрь. Для этих растений характерно распространение семян воздушными потоками (ветром): их семянки снабжены хохолками из многочисленных волосков. Они легковоспламеняемы, что определяет высокую пожароопасность невыкошенных участков сплошного произрастания золотарников в осенний период [8].

Золотарники принадлежат к числу насекомоопыляемых цветковых растений, основным способом распространения и воспроизводства которых является семенной [9, с. 355–356]. Очевидно, что эффективность опыления этих инвазивных растений антофильными насекомыми определяет не только их семенную продуктивность, но и формирование пула распространяемых ветром семян.

Для оценки эффективности опыления растений посетителями цветков и соцветий используется в том числе метод пыльцевого анализа [10]. Он предусматривает выяснение состава пыльцевого груза – пыльцы, накапливающейся как на теле насекомого, так и в обножке (при наличии морфологических приспособлений для аккумуляции собранной пыльцы, например корзиночки у медоносных пчел или скопы у пчел-листорезов). Схема анализа предполагает смывание с насекомого пыльцевых зерен и последующий их подсчет и идентификацию под микроскопом [10].

Прочность удержания пыльцевых зерен на теле насекомых-опылителей различна. С учетом этого можно выделить три фракции пыльцы:

- легко утрачиваемую (осыпается уже при полете насекомого);
- относительно легко утрачиваемую (может быть удалена смыванием);
- трудно утрачиваемую (может быть удалена только механически).

Такой вариант дифференциации был использован авторами для анализа пыльцевого груза посетителей соцветий якобеи обыкновенной (*Jacobaea vulgaris* L.) [11].

В задачи выполненных исследований входила оценка объема пыльцевого груза (количество переносимых на теле насекомых и в обножке (при ее наличии) пыльцевых зерен) и доли в нем конспецифической (т. е. принадлежащей модельному растению) пыльцы, а также выяснение соотношения легко утрачиваемой, относительно легко утрачиваемой и трудно утрачиваемой фракций пыльцы.

Материалы и методы исследования

Сбор насекомых производился в 2018 г. во время активного цветения золотарников (летне-осенний период) на территории их массового произрастания, к которой относятся:

- 1) окрестности водохранилища Дрозды (Минск);
- 2) окрестности жилого района по ул. Могилёвской (Минск);
- 3) Центральный ботанический сад НАН Беларуси (Минск);
- 4) окрестности Музея валунов (Минск);
- 5) окрестности Цнянского водохранилища (Минск);
- 6) лесопарковая зона микрорайона Зеленый Луг (Минск);
- 7) окрестности водохранилища Удранка (Молодечненский район, Минская область);
- 8) окрестности учебной географической станции «Западная Березина» (Воложинский район, Минская область);
- 9) окрестности д. Борок (Бобруйский район, Могилёвская область).

Прилегающую к участкам сбора материала местность предварительно обследовали на предмет отсутствия на расстоянии до 3 км сколько-нибудь многочисленных местопроизрастаний аборигенного вида – золотарника обыкновенного (*S. virgaurea* L.), поскольку по морфологическим признакам его пыльца практически неотличима от пыльцы *S. canadensis* и *S. altissima*. Идентификацию пыльцевых зерен выполняли, опираясь на материалы онлайн-базы данных *Palynological Database* (<https://www.paldat.org/>). Дистанция 3 км использована с учетом известных данных о расстояниях полетов фуражирующих особей антофильных перепончатокрылых [12].

Отлов насекомых производили вручную, а также с помощью энтомологического сачка. Коллектированных особей помещали в отдельные полипропиленовые пробирки объемом 10 мл. Для идентификации таксономической принадлежности перепончатокрылых насекомых использовали соответствующие определители [13; 14; 15, S. 19–42].

Ранжирование видов по относительному обилию (на основании структуры энтомологической коллекции) осуществлено с применением предложенной Ю. В. Песенко [16, с. 28–30] пятибалльной ограниченной сверху логарифмической шкалы. Соответствующие пороговые значения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Пятибалльная ограниченная сверху логарифмическая шкала для дифференциации по уровню относительного обилия жалоносных перепончатокрылых (Aculeata), коллектированных в числе посетителей соцветий инвазивных золотарников *S. canadensis* L. s. l. в условиях исследуемых местопроизрастаний

Table 1

Five-point logarithmic scale limited by the upper bound for differentiation relative species abundance of Aculeata, collected on alien *S. canadensis* L. s. l. inflorescences in discussed locations

Класс по уровню обилия	Граница интервала класса	
	Нижняя	Верхняя
1 (единичный вид)	1	3
2 (малочисленный вид)	4	9
3 (обычный вид)	10	26
4 (многочисленный вид)	27	78
5 (доминирующий вид)	79	232

Объем пыльцевого груза оценивается количеством пыльцевых зерен на одну особь [10]. Анализ проводился с помощью микроскопа Zeiss Stemi 2000 (*Carl Zeiss*, Германия) и камеры Горяева по методике, аналогичной методике подсчета эритроцитов крови, при этом размер пыльцевых зерен не учитывался.

Использовался ранее предложенный авторами [11] вариант дифференциации пыльцевых зерен на три фракции (легко утрачиваемая, относительно легко утрачиваемая и трудно утрачиваемая пыльца). Количественные данные аккумулировались в электронных таблицах, базовый статистический анализ выполнялся средствами программного обеспечения *PAST* (версия 4.05).

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных исследований на соцветиях золотарников *S. canadensis* L. s. l. были коллектированы имаго 44 видов перепончатокрылых насекомых, принадлежащих к 20 родам, 11 семействам и 3 надсемействам. Их систематическое положение приведено ниже в соответствии с вариантом систематики, использованным в издании «Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России» [17, p. 118–309].

Надсемейство Chrysoidea: *Hedychrum nobile* (Scopoli, 1763).

Надсемейство Vespoidea: *Ancistrocerus ichneumonideus* (Ratzeburg, 1844); *A. nigricornis* Morawitz, 1889; *A. parietinus* Linnaeus, 1761; *Eumenes coarctatus* (Linnaeus, 1758); *Polistes dominula* (Christ, 1791); *P. nimpha* (Christ, 1791); *Vespa rufa* (Linnaeus, 1758).

Надсемейство Apoidea, секция Spheciformes: *Ammophila terminata* F. Smith, 1856; *Cerceris arenaria* (Linnaeus, 1758); *C. quinquefasciata* (Rossi, 1792); *C. ruficornis* (Fabricius, 1793); *C. rybyensis* (Linnaeus, 1771); *Lestica alata* (Panzer, 1797); *L. clypeata* (Schreber, 1759); *Philanthus triangulum* (Fabricius, 1775).

Надсемейство Apoidea, секция Apiformes: *Andrena chrysopyga* Dours, 1872; *A. flavipes* Panzer, 1799; *A. gallica* Schmiedeknecht, 1883; *A. lepida* Schenck, 1861; *A. pilipes* Fabricius, 1781; *Bombus humilis* Illiger, 1806; *B. hypnorum* (Linnaeus, 1758); *B. lapidarius* (Linnaeus, 1758); *B. lucorum* (Linnaeus, 1761); *B. ruderals* (Müller, 1776); *B. semenoviellus* Skorikov, 1910; *B. terrestris* (Linnaeus, 1758); *Bombus (Psithyrus) barbutellus* (Kirby, 1802); *Epeolus variegatus* (Linnaeus, 1758); *E. cruciger* (Panzer, 1799); *Colletes similis* Schenck, 1853; *Hylaeus annularis* (Kirby, 1802); *H. communis* Nylander, 1852; *Halictus maculatus* (Smith, 1848); *H. tumulorum* (Linnaeus, 1758); *Lasioglossum calceatum* (Scopoli, 1763); *L. costulatum* (Kriechbaumer, 1873); *L. leucopus* (Kirby, 1802); *L. morio* (Fabricius, 1793); *L. sexnotatum* (Nylander, 1852); *Sphcodes puncticeps* Thomson, 1870; *Heriades truncorum* (Linnaeus, 1758); *Macropis europaea* Warncke, 1973.

Все отмеченные насекомые были зарегистрированы в качестве посетителей соцветий инвазивных золотарников на территории Беларуси впервые.

Рассматривая структуру исследуемого сообщества (гильдии) посетителей соцветий инвазивных золотарников, следует обратить внимание на ее резкие различия в аспектах видового богатства и относительного обилия. Так, к группе многочисленных отнесены 2 вида пчелиных семейства Apidae – шмели *B. lapidarius* L. и *B. terrestris* L., к группе обычных – 5 видов, таких как шмель *B. ruderals* Müller, пчела *H. communis* Nyl. и осы *Ph. triangulum* F., *P. dominula* Christ, *P. nimpha* Christ. Все перечисленные виды являются широко распространенными на территории Беларуси [18] и, как следует из рис. 1, а, составляют 67 % (41 и 26 % соответственно) особей анализируемой выборки. В то же время рис. 1, б, указывает, что на них приходится около 16 % совокупного видового богатства. Это заставляет сфокусироваться на составе названных двух групп антофилов и оценке их возможного вклада в осуществление трансфера пыльцы.

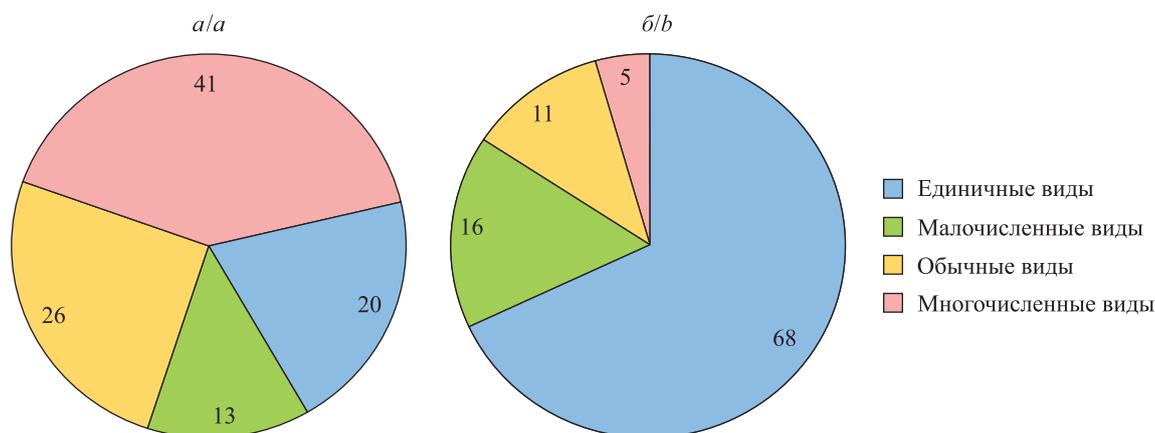


Рис. 1. Структура сообщества (гильдии) энтомофильных жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий инвазивных золотарников *S. canadensis* L. s. l. в аспектах относительного обилия (а) и видового богатства (б), %

Fig. 1. The composition of communities of entomophilous Aculeata – visitors of alien *S. canadensis* L. s. l. inflorescences in terms of relative species abundance (а) and species diversity (б), %

Существенным аспектом экологической структуры рассматриваемой гильдии является представленность группы антофильных перепончатокрылых насекомых с разной шириной спектра посещаемых энтомофильных растений. Наибольшим видовым богатством характеризуется группа полилектов, фуражирующих на соцветиях растений многих эколого-таксономических групп. Олиголектом в составе исследуемого сообщества является пчела *M. europaea*, посещающая также соцветия вербейников (*Lysimachia* L.) [19]. На соцветиях золотарников авторами было зарегистрировано всего 2 экземпляра *M. europaea*, что позволяет предположить, что эти пчелы посещали золотарники не для питания, а для отдыха или груминга.

Все представители групп многочисленных и обычных видов принадлежат к числу полилектов, а значит, на участках сплошного произрастания золотарников способны посещать цветки и соцветия иных энтомофильных растений и, следовательно, нести не только конспецифическую пыльцу золотарников.

На рис. 2 представлен общий объем пыльцевого груза, а на рис. 3 – доля в нем конспецифической и неконспецифической пыльцы.

Таким образом, обнаруживается значительное преобладание конспецифической пыльцы в пыльцевых грузах многочисленных и обычных видов рассматриваемых сообществ. Это объясняется проявлением известного для пчелиных правила цветочной константности, которое выражается в том, что насекомые посещают цветки одного и того же вида растения так долго, насколько это возможно. Правило цветочной константности базируется на восприятии пчелами и другими насекомыми сходства и различия морфологических признаков посещаемых цветков [20, с. 47–57].

Также следует отметить, что наибольшее число конспецифических пыльцевых зерен выявлено в пыльцевых грузах шмелей (*Bombus* Latr.). Доказано, что шмели являются распространенными опылителями широкого спектра цветковых растений, это отражено во многих работах, опубликованных за последние годы [18; 21].

Пыльца энтомофильных растений зачастую обладает различными приспособлениями для фиксации на теле антофильных насекомых, последние в ряде случаев также приспособлены к аккумуляции на себе пыльцевых зерен для последующего их сбора и использования в качестве пищевого ресурса, в том числе для своего потомства [20, с. 17–47].

В результате часть пыльцевых зерен настолько надежно закрепляются на теле насекомых, что могут быть удалены лишь целенаправленным механическим воздействием. Они могут быть конспецифическими, но не являются ресурсом для опыления целевых энтомофильных растений (в данном случае – инвазивных золотарников). Более того, фракция трудно утрачиваемых пыльцевых зерен формирует пул заблокированной для участия в опылении пыльцы, ее превалирование в структуре пыльцевого груза характеризует посетителей соцветий в качестве неэффективных опылителей.

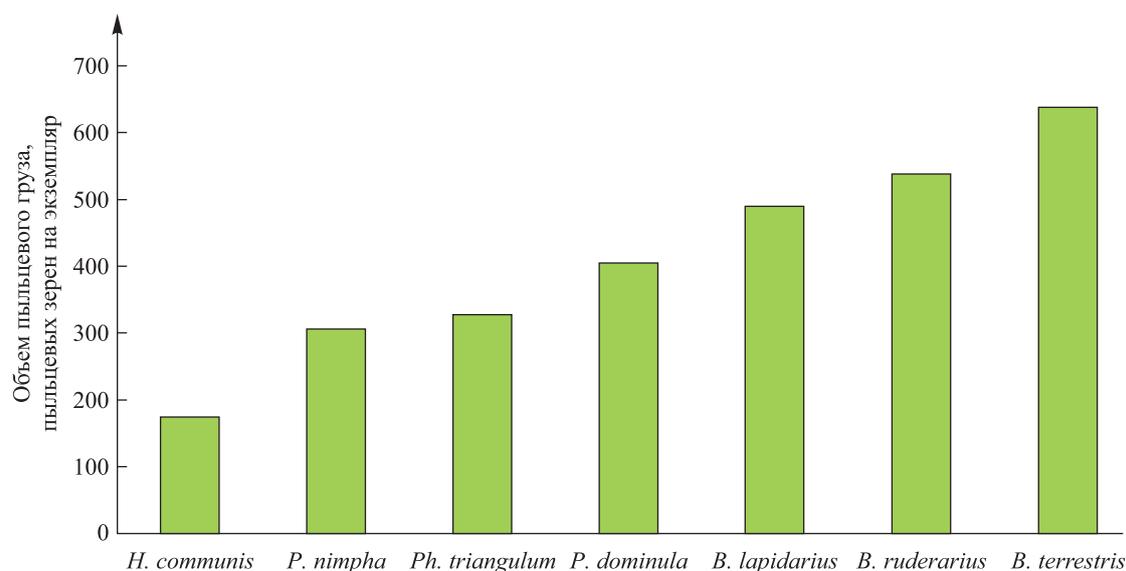


Рис. 2. Объем пыльцевого груза имаго многочисленных и обычных видов жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий золотарников *S. canadensis* L. s. l.

Fig. 2. Pollen cargo on numerous and common species of Aculeata – visitors of *S. canadensis* L. s. l. inflorescences

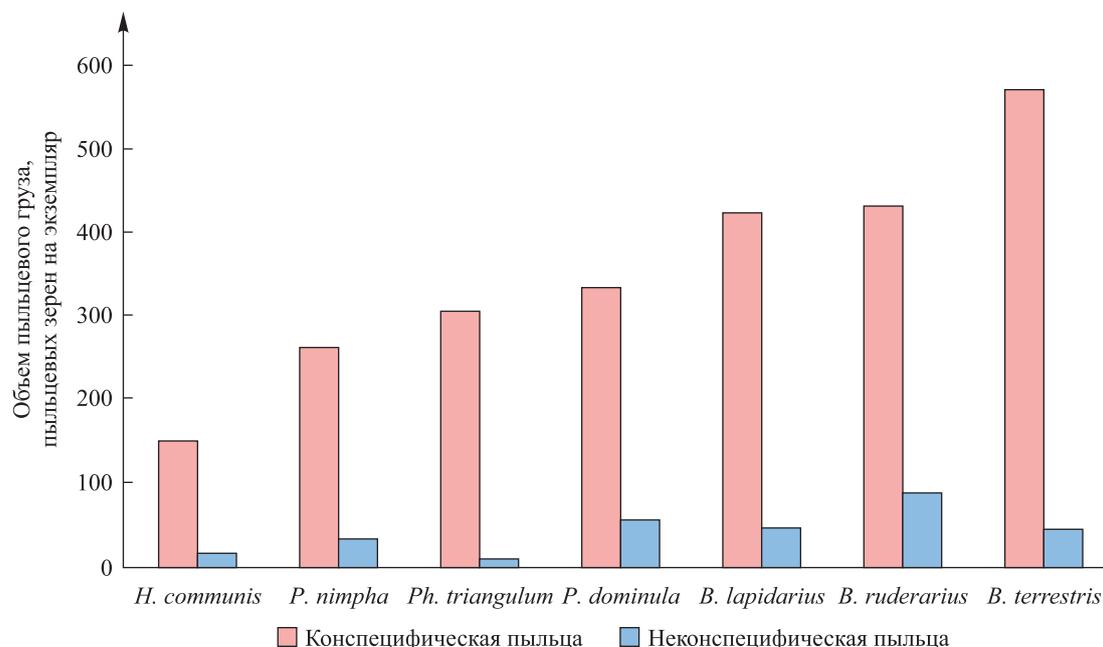


Рис. 3. Соотношение различных фракций пыльцы в пыльцевом грузе многочисленных и обычных видов жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий золотарников *S. canadensis* L. s. l.

Fig. 3. Distribution of different pollen fractions in pollen cargo of numerous and common species of Aculeata – visitors of *S. canadensis* L. s. l. inflorescences

В табл. 2 представлены результаты анализа фракционного состава пыльцевого груза имаго перепончатокрылых из групп многочисленных и обычных посетителей соцветий золотарников.

Таблица 2

Объем и структура пыльцевого груза имаго многочисленных и обычных видов жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий золотарников *S. canadensis* L. s. l. в условиях исследуемых местопроизрастаний

Table 2

Volume and structure of pollen cargo of numerous and common species of Aculeata – visitors of *S. canadensis* L. s. l. inflorescences in discussed locations

Вид	Фракция пыльцы, пыльцевых зерен на экземпляр		
	Легко утрачиваемая	Относительно легко утрачиваемая	Трудно утрачиваемая
<i>B. lapidarius</i>	96,00 ± 20,00	177,00 ± 22,41	167,00 ± 19,26
<i>B. terrestris</i>	184,00 ± 62,00	203,00 ± 49,55	204,00 ± 62,84
<i>B. ruderarius</i>	77,00 ± 24,42	232,00 ± 64,26	139,00 ± 41,56
<i>H. communis</i>	16,00 ± 6,63	111,00 ± 73,77	29,00 ± 10,29
<i>Ph. triangulum</i>	77,00 ± 66,26	147,00 ± 36,40	94,00 ± 35,87
<i>P. dominula</i>	125,00 ± 49,01	137,00 ± 46,62	84,00 ± 32,69
<i>P. nimpha</i>	66,00 ± 20,50	113,00 ± 29,70	93,00 ± 20,32

Визуализация полученных данных позволяет сделать заключение о преобладании в составе пыльцевого груза имаго всех многочисленных и обычных видов перепончатокрылых конспецифических пыльцевых зерен (рис. 4). Более того, доля фракции конспецифической трудно утрачиваемой пыльцы у всех видов намного меньше доли фракций легко утрачиваемой и относительно легко утрачиваемой пыльцы, которая пригодна для опыления.

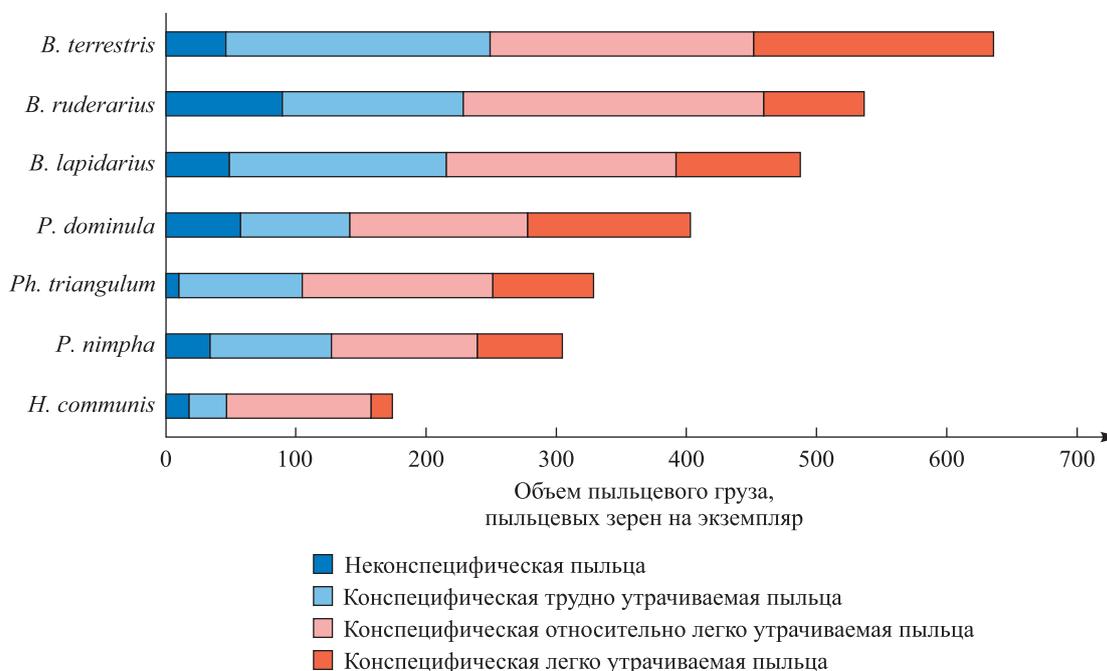


Рис. 4. Соотношение различных фракций пыльцы в пыльцевом грузе имаго многочисленных и обычных видов жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий инвазивных золотарников *S. canadensis* L. s. l.

Fig. 4. Distribution of different pollen fractions in pollen cargo of numerous and common species of Aculeata – visitors of alien *S. canadensis* L. s. l. inflorescences

Большое количество пыльцевых зерен, переносимых имаго бумажных ос *P. dominula* и *P. nimpha*, может быть объяснено особенностями их этологии: ввиду социальности и формирования крупных семей полисты, посещающая соцветия золотарников для питания и (или) охоты, накапливают и переносят на своих телах пыльцу.

Наибольшие объемы пыльцевого груза ожидаемо были констатированы для имаго многочисленных (*B. terrestris*, *B. lapidarius*) и обычных (*B. ruderarius*) видов шмелей, что хорошо коррелирует с данными предыдущих исследований [18].

Высокая плотность фуражирующих особей этих шмелей в местах произрастания золотарников делает их, предположительно, основными переносчиками пыльцы золотарников в данных местопроизрастаниях. Также следует обратить внимание на то, что *B. terrestris* проявляет тенденцию к доминированию в комплексах опылителей цветковых растений, и это подтверждается результатами исследований [21]. Довольно широкий радиус фуражирования, характерный для этих видов (312–2800 м для *B. terrestris*, 450 м для *B. lapidarius* [21]), также способствует частому посещению соцветий золотарников даже особями, гнезда которых расположены на значительном расстоянии от зарослей золотарников на рассматриваемом местопроизрастании.

Заключение

Структура сообществ (гильдий) антофильных жалоносных перепончатокрылых (Aculeata) – посетителей соцветий инвазивных золотарников *S. canadensis* L. s. l. в условиях Беларуси, установленная по результатам анализа данных для девяти участков местопроизрастаний на территории Минска, Минской и Могилёвской областей в аспектах видового богатства и относительного обилия отдельных видов, конкретна: на группы многочисленных и обычных видов приходится около 16 % видового богатства и 67 % совокупного обилия. В группу многочисленных видов вошли шмели *B. terrestris* L. и *B. lapidarius* L., в группу обычных видов – шмель *B. ruderarius* Müller, пчела *H. communis* Nyl., осы *Ph. triangulum* F., *P. dominula* Christ, *P. nimpha* Christ. В составе пыльцевого груза этих антофилов доля конспецифической пыльцы варьировалась от 83,43 до 96,95 % и у всех видов превышала долю неконспецифической пыльцы. Дифференциация конспецифической пыльцы на легко утрачиваемую, относительно легко утрачиваемую (доступны для трансфера и последующего опыления) и трудно утрачиваемую (фактически изъята из пула пыльцевых зерен) выявила преобладание в структуре пыльцевого груза важных фракций конспецифической пыльцы. Высокая доля конспецифической пыльцы, а также ее легко утрачиваемой

и относительно легко утрачиваемой фракций у многочисленных и обычных видов шмелей *B. terrestris*, *B. lapidarius* и *B. ruderarius* хорошо согласуется с их статусом эффективных опылителей энтомофильных растений.

Библиографические ссылки

1. Дубовик ДВ, Скуратович АН, Миллер Д, Спиридович ЕВ, Горбунов ЮН, Виноградова ЮК. Инвазионная активность *Solidago canadensis* на территории заказника «Прилепский» (Беларусь). *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*. 2019; 4(2):48–56. На англ. DOI: 10.24189/ncr.2019.013.
2. Шмелев ВМ, Панкрушина АН. Особенности распространения инвазионных *Solidago* (Asteraceae) и их воздействие на природные виды. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2019;3:130–135. DOI: 10.26456/vtbio105.
3. Moron D, Lenda M, Skórka P, Szentgyörgyi H, Settele J, Woyciechowski W. Wild pollinator communities are negatively affected by invasion of alien goldenrods in grassland landscapes. *Biological Conservation*. 2009;142(7):1322–1332. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.036.
4. Kajzer-Bonk J, Szpiłyk D, Woyciechowski M. Invasive goldenrods affect abundance and diversity of grassland ant communities (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Insect Conservation*. 2016;20(1):99–105. DOI: 10.1007/s10841-016-9843-4.
5. van Hengstum T, Hoofman DAP, Oostermeijer JGB, van Tienderen PH. Impact of plant invasions on local arthropod communities: a meta-analysis. *Journal of Ecology*. 2014;102(1):4–11. DOI: 10.1111/1365-2745.12176.
6. Дубовик ДВ, Дмитриева СА, Ламан НА, Лебедько ВН, Левкович АВ, Масловский ОМ и др. *Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения*. Парфенов ВИ, Пугачевский АВ, редакторы. Минск: Беларуская навука; 2020. 407 с.
7. Тихомиров ВН, Ровенская ИА. Внутри- и межпопуляционная изменчивость *Solidago canadensis* L. s. l. в Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2019;3:67–78. DOI: 10.33581/2521-1722-2019-3-67-78.
8. Мотыль ММ, Гаранович ИМ. Разнообразие золотарника в Беларуси и биорациональные способы ограничения его инвазионного распространения. *Наука и инновации*. 2014;4:65–67.
9. Маевский ПФ. *Флора средней полосы европейской части России*. 11-е издание. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2014. 635 с.
10. Хвир ВИ. *Сообщества антофильных насекомых сорных и рудеральных растений. Комплексный подход в оценке эффективности опыления*. Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing; 2010. 156 с.
11. Коротеева ДО. Жалоносные перепончатокрылые как опылители якобеи обыкновенной (*Jacobaea vulgaris* L.). В: Сафонов ВГ, главный редактор. *Материалы 76-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета. Часть 1; 13–24 мая 2019 г.; Минск, Беларусь* [Интернет]. Минск: БГУ; 2019 [процитировано 21 марта 2022 г.]. с. 315–318. Доступно по: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/232629>.
12. Zurbuchen A, Landert L, Klaiber J, Müller A, Hein S, Dorn S. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*. 2010;143(3):669–676. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.12.003.
13. Тобиас ВИ, составитель. Надсемейство Vespoidea – складчатокрылые осы. В: Медведев ГС, редактор. *Определитель насекомых европейской части СССР. Том 3. Перепончатокрылые (часть 1)*. Ленинград: Наука; 1978. с. 147–173.
14. Осычнюк АЗ, Панфилов ДВ, Пономарева АА, составители. Надсемейство Apoidea – пчелиные. В: Медведев ГС, редактор. *Определитель насекомых европейской части СССР. Том 3. Перепончатокрылые (часть 1)*. Ленинград: Наука; 1978. с. 279–519.
15. Gokcezade JF, Gereben-Krenn B-A, Neumayer J, Krenn HW. *Feldbestimmungsschlüssel für die Hummeln Deutschlands, Österreichs und der Schweiz (Hymenoptera, Apidae)*. Leipzig: Quelle & Mayer; 2010. 42 S.
16. Песенко ЮА. *Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях*. Москва: Наука; 1982. 288 с.
17. Белокобыльский СА, Лелей АС, редакторы. *Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России. Том 1. Сидячебрюхие (Symphyla) и жалоносные (Arosrita: Aculeata)*. Санкт-Петербург: Зоологический институт Российской академии наук; 2017. 475 с. (Труды Зоологического института Российской академии наук; том 321, приложение 6). На англ. DOI: 10.31610/trudyzin/2017.supl.6.5.
18. Шейко АА, Коротеева ДО. Одиночные пчелиные (Hymenoptera: Apoidea) – эффективные опылители различных растений флоры Беларуси. В: Дерунков АВ, Кулак АВ, Прищепчик ОВ, редакторы. *Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе. Сборник статей III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В. А. Цинкевича; 19–21 ноября 2019 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издатель А. Н. Варакин; 2019. с. 429–432.
19. Triponez Y, Arrigo N, Espíndola A, Alvarez N. Decoupled post-glacial history in mutualistic plant-insect interactions: insights from the yellow loosestrife (*Lysimachia vulgaris*) and its associated oil-collecting bees (*Macropis europaea* and *M. fulvipes*). *Journal of Biogeography*. 2015;42(4):630–640. DOI: 10.1111/jbi.12456.
20. Гринфельд ЭК. *Происхождение и развитие антофилии у насекомых*. Ленинград: Издательство Ленинградского университета; 1978. 208 с.
21. Herbertsson L, Khalaf R, Johnson K, Bygebjerg R, Blomqvist S, Persson AS. Long-term data shows increasing dominance of *Bombus terrestris* with climate warming. *Basic and Applied Ecology*. 2021;53:116–123. DOI: 10.1016/j.baec.2021.03.008.

References

1. Dubovik DV, Skuratovich AN, Miller D, Spiridovich EV, Gorbunov YuN, Vinogradova YuK. The invasiveness of *Solidago canadensis* in the reserve «Prilepsky» (Belarus). *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*. 2019;4(2):48–56. DOI: 10.24189/ncr.2019.013.
2. Shmelev VM, Pankrushina AN. Spreading of invasive *Solidago* (Asteraceae) and their impact on native species. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*. 2019;3:130–135. Russian. DOI: 10.26456/vtbio105.

3. Moron D, Lenda M, Skórka P, Szentgyörgyi H, Settele J, Woyciechowski W. Wild pollinator communities are negatively affected by invasion of alien goldenrods in grassland landscapes. *Biological Conservation*. 2009;142(7):1322–1332. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.036.
4. Kajzer-Bonk J, Szpiłyk D, Woyciechowski M. Invasive goldenrods affect abundance and diversity of grassland ant communities (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Insect Conservation*. 2016;20(1):99–105. DOI: 10.1007/s10841-016-9843-4.
5. van Hengstum T, Hoofman DAP, Oostermeijer JGB, van Tienderen PH. Impact of plant invasions on local arthropod communities: a meta-analysis. *Journal of Ecology*. 2014;102(1):4–11. DOI: 10.1111/1365-2745.12176.
6. Dubovik DV, Dmitrieva SA, Laman NA, Lebed'ko VN, Levkovich AV, Maslovskii OM, et al. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnye vredonosnye rasteniya* [Black book of the flora of Belarus: alien harmful plants]. Parfenov VI, Pugachevskii AV, editors. Minsk: Belaruskaja navuka; 2020. 407 p. Russian.
7. Tikhomirov VN, Ravenskaya IA. Intra- and interpopulation variability of *Solidago canadensis* L. s. l. in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2019;3:67–78. Russian. DOI: 10.33581/2521-1722-2019-3-67-78.
8. Motyl MM, Garanovich IM. [Goldenrod diversity in Belarus and biorational methods to limit its invasion]. *Nauka i innovatsii*. 2014;4:65–67. Russian.
9. Maevskii PF. *Flora srednei polosy evropeiskoi chasti Rossii* [Flora of middle part of European Russia]. 11th edition. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2014. 635 p. Russian.
10. Khvir VI. *Soobshchestva antofil'nykh nasekomykh sornykh i ruderal'nykh rastenii. Kompleksnyi podkhod v otsenke effektivnosti opyleniya* [Communities of anthophilous insects and their interaction with weed ruderal plants. An integrated approach to assessing the effectiveness of pollination]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing; 2010. 156 p. Russian.
11. Koroteeva DO. [Aculeata as *Jacobaea vulgaris* L. pollinators]. In: Safonov VG, chief editor. *Materialy 76-i nauchnoi konferentsii studentov i aspirantov Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Chast' 1; 13–24 maya 2019 g.; Minsk, Belarus* [Proceedings of the 76th scientific conference of students and postgraduate students of the Belarusian State University. Part 1; 2019 May 13–24; Minsk, Belarus] [Internet]. Minsk: Belarusian State University; 2019 [cited 2022 March 21]. p. 315–318. Available from: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/232629>. Russian.
12. Zurbuchen A, Landert L, Kläiber J, Müller A, Hein S, Dorn S. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*. 2010;143(3):669–676. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.12.003.
13. Tobias VI, compiler. [Superfamily Vespoidea – fold-winged wasps]. In: Medvedev GS, editor. *Opredelitel' nasekomykh evropeiskoi chasti SSSR. Tom 3. Pereponchatokrylye (chast' 1)* [Identification key for insects of the European part of the USSR. Volume 3. Hymenoptera (part 1)]. Leningrad: Nauka; 1978. p. 147–173. Russian.
14. Osychnyuk AZ, Panfilov DV, Ponomareva AA, compilers. [Superfamily Apoidea – bees]. In: Medvedev GS, editor. *Opredelitel' nasekomykh evropeiskoi chasti SSSR. Tom 3. Pereponchatokrylye (chast' 1)* [Identification key for insects of the European part of the USSR. Volume 3. Hymenoptera (part 1)]. Leningrad: Nauka; 1978. p. 279–519. Russian.
15. Gokcezade JF, Gereben-Krenn B-A, Neumayer J, Krenn HW. *Feldbestimmungsschlüssel für die Hummeln Deutschlands, Österreichs und der Schweiz (Hymenoptera, Apidae)*. Leipzig: Quelle & Mayer; 2010. 42 S.
16. Pesenko YuA. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic research]. Moscow: Nauka; 1982. 288 p. Russian.
17. Belokobyl'skij SA, Lelej AS, editors. *Annotated catalogue of the Hymenoptera of Russia. Volume 1. Symphyta and Apocrita: Aculeata*. Saint Petersburg: Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; 2017. 475 p. (Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; volume 321, supplement 6). DOI: 10.31610/trudyzin/2017.supl.6.5.
18. Sheiko AA, Koroteeva DO. [Wild bees (Hymenoptera: Apoidea) as effective pollinators of various plants of Belarus]. In: Derunkov AV, Kulak AV, Prishchepchik OV, editors. *Itogi i perspektivy razvitiya entomologii v Vostochnoi Evrope. Sbornik statei III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati V. A. Tsinkevicha; 19–21 noyabrya 2019 g.; Minsk, Belarus* [Results and prospects for the development of entomology in Eastern Europe. A collection of articles of the 3rd International scientific and practical conference dedicated to the memory of V. A. Tsinkevich; 2019 November 19–21; Minsk, Belarus]. Minsk: Izdatel' A. N. Varaksin; 2019. p. 429–432. Russian.
19. Triponez Y, Arrigo N, Espindola A, Alvarez N. Decoupled post-glacial history in mutualistic plant-insect interactions: insights from the yellow loosestrife (*Lysimachia vulgaris*) and its associated oil-collecting bees (*Macropis europaea* and *M. fulvipes*). *Journal of Biogeography*. 2015;42(4):630–640. DOI: 10.1111/jbi.12456.
20. Grinfeld EK. *Proiskhozhdenie i razvitie antofilii u nasekomykh* [The origin and development of anthophylite of insects]. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta; 1978. 208 p. Russian.
21. Herbertsson L, Khalaf R, Johnson K, Bygebjerg R, Blomqvist S, Persson AS. Long-term data shows increasing dominance of *Bombus terrestris* with climate warming. *Basic and Applied Ecology*. 2021;53:116–123. DOI: 10.1016/j.baec.2021.03.008.