

БОТАНИКА

К ВОПРОСУ О КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ РАЗМЕРОМ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН И ПЛОИДНОСТЬЮ У *GALIUM* SECT. *PLATYGALIUM*

И.А. Шанцер¹, А.М. Элькорди²

¹Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН
Ботаническая ул., 4, Москва, Россия, 127276

²Кафедра ботаники, физиологии растений и агробиотехнологии
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Макляя, 6, Москва, Россия, 117198

В статье приводятся данные измерений пыльцевых зерен видов *Galium sect. Platygaliium* у диплоидов ($2n = 2 \times = 22$, *G. boreale*, *G. valantioides*, *G. broterianum*), тетраплоидов ($2n = 4 \times = 44$, *G. boreale*), гексаплоидов ($2n = 6 \times = 66$, *G. boreale*), додекаплоидов ($2n = 12 \times = 132$, *G. rubioides*), а также видов и подвидов, относящихся к группе *Platygaliium*. Установлено наличие положительной корреляции между размером пыльцевых зерен и плоидностью у диплоидов *G. boreale* ($P = 16,68$ мкм, $E = 15,76$ мкм), *G. valantioides* ($P = 15,82$ мкм, $E = 14,69$ мкм), *G. broterianum* ($P = 15,94$ мкм, $E = 14,97$ мкм), тетраплоидов *G. boreale* ($P = 17,15$ мкм, $E = 17,21$ мкм), гексаплоидов *G. boreale* ($P = 18,83$ мкм, $E = 18,80$ мкм) и додекаплоидов *G. rubioides* ($P = 20,87$ мкм, $E = 21,63$ мкм). В результате выявлена статистически значимая корреляция между средним диаметром пыльцы и уровнем плоидности.

Ключевые слова: Rubiaceae, *Galium*, *Platygaliium*, плоидность, пыльца, корреляция.

Введение. *Galium boreale* L. принадлежит к группе видов, широко распространенных в умеренной зоне Северного полушария. Группа включает в себя редко встречающиеся диплоиды ($2n = 2 \times = 22$), тетраплоиды ($2n = 4 \times = 44$), гексаплоиды ($2n = 6 \times = 66$) и представителей с более высокой плоидностью ($12 \times$). Тетра- и гексаплоидные цитотипы распространены по всей Европе, также сообщалось о наличии додекаплоидов ($12 \times$) у *G. rubioides* L. В Евразии встречается много промежуточных морфотипов между *Galium boreale* и *G. rubioides*, статус которых остается неопределенным в связи с отсутствием подробных цитотаксономических анализов [7].

Существует множество доказательств того, что палинологические признаки имеют важное систематическое значение для семейства Мареновые [5; 6].

Впервые данные о характере пыльцы были использованы для реконструкции филогении семейства Бремкампом [2]. Более поздние исследования, касающиеся

систематики семейства, часто включают в себя морфологические особенности пыльцы, подтверждая или опровергая гипотезы о той или иной систематической принадлежности вида [3; 10; 11; 16].

Данные о морфологических особенностях пыльцы оказались особенно информативными в прояснении эволюционных отношений внутри семейства Мареновые [4].

Изучив шесть родов Rubieae, встречающихся в северо-западной Европе — *Asperula*, *Crucianella*, *Cruciata*, *Galium*, *Rubia* и *Sherardia*, Хьюйсманс с соавторами [8] отметили, что большинство родов трибы имеют схожий характер пыльцы. Исходя из этого авторы предположили, что виды сравнительно недавно отделились от общего предка и тем самым сохранили принципиальное сходство в структуре пыльцы. Они пришли к выводу об уникальности трибы Rubieae в семействе Rubiaceae, поскольку триба имеет уникальную комбинацию следующих признаков пыльцы: несколько борозчатых пор, перфорированный и морщинистый тектум, относительно небольшой размер, отсутствие эндопор, столбчатый слой экзины, располагающийся ниже наружных борозд, а также отсутствие орбикул.

У большинства родов размер пыльцевых зерен положительно коррелирует с числом хромосом и/или уровнем пloidности [9].

Шанцер и Эрендорфер [15] подтвердили гипотезу о взаимосвязи между диаметром пыльцы и уровнем пloidности растений *Galium sect. Orientigalium*.

Материалы и методы. Из гербарных образцов было отобрано от 3 до 10 экземпляров каждого из изучаемых видов. Происхождение, идентификатор/номер документа, а также число хромосом изучаемых видов представлены в табл. 1. Все исследования проводились на пыльцевых зернах, подвергнутых ацетолузу, согласно методики [12; 13].

Таблица 1

Список образцов, использованных для измерений диаметра пыльцевых зерен *Galium L.* с помощью светового микроскопа

| Обозначение | Вид | Образец |
|-------------|--|--|
| val_2x | <i>G. valantioides</i> (2n = 2x = 22) | 227258 (W) |
| val_2x | <i>G. valantioides</i> (2n = 2x = 22) | 227219 (W) |
| val_2x | <i>G. valantioides</i> (2n = 2x = 22) | 227420 (W) |
| val_2x | <i>G. valantioides</i> (2n = 2x = 22) | 221664 (W) |
| val_2x | <i>G. valantioides</i> (2n = 2x = 22) | Запад Кавказа: Гульрипш, долина fluminis Amtkel haud procul a confluvio fluminis Kodora, Vasak. V no 01363 (W) |
| bro_2x | <i>G. broterianum</i> (2n = 2x = 22) | Португалия, пров. Бейра, 8238 (W) |
| bro_2x | <i>G. broterianum</i> (2n = 2x = 22) | Португалия, F. Ehrendorfer no. 1988—4156 (W) |
| bro_2x | <i>G. broterianum</i> (2n = 2x = 22) | 233168 (W) |
| bro_2x | <i>G. broterianum</i> (2n = 2x = 22) | Испания, Авила, горные гряды Эспина, река Тормес. E. Gros no. 2003—07257 (W) |
| bor_2x | <i>G. boreale</i> (2n = 2x = 22) | Монголия, озеро Хубсугул, Сahnch, Bajan gol. Murin, Haberova, Zamsran (SV). |
| bor_2x | <i>G. boreale</i> (2n = 2x = 22) | Монголия, озеро Хубсугул, Сahnch, Bajan gol. Murin, Haberova, Zamsran (SV) |

| Обозначение | Вид | Образец |
|-----------------|---|--|
| bor_2x | <i>G. boreale</i> (2n = 2x = 22) | Монголия, озеро Хубсугул, Сahnch, Bajan gol. Murin, Haberoва, Zamsran (SV) |
| bor_4x | <i>G. boreale</i> (2n = 4x = 44)(Krendl F.) | Норвегия: Акерхсус, Ski, south ends of Gjetsdon, F. Krendl no. 1988—4123 |
| bor_4x | <i>G. boreale</i> (2n=4x=44) (Krendl F.) | Швеция: sotermanland: Botkyrka. Tullinge, F. Krendl no. 1988—4123 |
| bor_4x | <i>G. boreale</i> (2n = 4x = 44)(Krendl F.) | Italy, Cogne Valley SW Osta, A. Polatschnek no. 1992-00051 (W) |
| bor_4x | <i>G. boreale</i> (2n = 4x = 44) (Krendl F.) | Bulgaria, W Rhodopen, Rakovo dere, 24° 8' 25" E, 41° 50' 18" N; F. krendl no. 2009-15959 (W) |
| bor_6x | <i>G. boreale</i> (2n = 6x = 66) (Krendl F.) | Yugoslavia, Montenegro, S. Zabljak, A. Polatschnek no. 11743 (W) |
| bor_6x | <i>G. boreale</i> (2n = 6x = 66) (Krendl F.) | Romania, northern edge of papoic, N. Zagon, 26° 8' E, 45° 47' N; F. krendl no. 2000-02010 (W) |
| bor_6x | <i>G. boreale</i> (2n = 6x = 66) (Krendl F.) | Germany: Dessau, F. krendl no. 1988-4143 (W) |
| bor_6x | <i>G. boreale</i> (2n = 6x = 66) (Krendl F.) | Sweden: Skane, Hardeberga F. krendl no. 1988—4141 (W) |
| bor2 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Калужская область, Козельский район, 54° 11' С.Ш, 35° 58' В.Я. В. Косенко, М.Д. Логачева, С.С. Панкова, С.В. Полевава, Н.М. Решетникова, Е.О. Королькова (МНА) |
| bor6 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Калужская область, Боровский район, Т. Рябова и А. Кураков (МНА) |
| bor9 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть Р. Ф) | Брянская область, район Стародубский севернее г. Стародуба, Д. Алексеев и В. Макаров (МНА) |
| bor10 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Калужская область, Мещовский район, Н.М. Решетникова (МНА) |
| bor11 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Смоленская область, Хиславичиский район, Долина р. Сож., Н.М. Решетникова, В.И. Золотов и И.А. Шанцер (МНА) |
| bor13 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Калужская область, Козельский район, 54° 11' С.Ш, 35° 58', Я.В. Косенко, М.Д. Логачева, С.С. Панкова, С.В. Полевава, Н.М. Решетникова, Е.О. Королькова (МНА) |
| bor22 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть Р. Ф) | Эстония, 40 км. Южнее г. Пярну, А.К. Скворцов, В.Д. Бочкин и Н.А. Шевырева (МНА) |
| bor27 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Кольский п-ов, район к западу от г Анатиты берег оз. Имандра. Заболоченный лес. К.А. Шевоеревч и Т.Ю. Коновалова (МНА) |
| bor29, bor30 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Белгородская область, Вейделевский район, 50° 08,5' с.ш. 38° 22' В.Д. А. Мамонтов (МНА) |
| bor33 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Область Чувашия район: Алатьрский блез дер. Ичиксн. По оврагам, В. Макаров (МНА) |
| bor38 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Полярный урал, азиатский макросклон 67° 35—40' С у озера в верховы р. А.К. Сквориов и В.Р. Филин (МНА) |
| bor39 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Полярный урал, около, 67° с.ш., Долина Р. Пойпудьны, А.К. Скворцов и В.Р. Филин (МНА) |
| bor51 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Свердловская область. Ст. Сродняя. Фролов, № 166/27 (МНА) |
| bor53 | <i>G. boreale</i> (Европейская часть РФ) | Воронежская область, Таловский район, 50° 0,2' с. 38° 40' з. А. Серёгин, О. Чередниченкс, М. Галкина, Е. Казанцева, А. Комарова и А. Стогова, № R-1380 (MW) |
| bor3s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Юго-восточный Таймыр, нежнее течение р. Котуй, правый берег, 71° 40' с.ш, 102° 33' в.д. Поспелов И.Н. (МНА) |
| bor5s | <i>G. mugodsharicum</i> | Полярный урал, Тюменская обл., Приуральский р-н, Т. Коновалова и Н. Шевырева (МНА) |

Продолжение

| Обозначение | Вид | Образец |
|-------------------|--|---|
| bor6s, bor7s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Шилка. Читинская обл., Шилкинский р-н. Алянская Н.С. И Совейкина Т. (МНА) |
| bor8s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Красноярский Край, 2 км на юго-восток от Игарки, Алянская Н.С., Костина М.В. и Коклина А.Г. (МНА) |
| bor13s, bor14s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Красноярский Край, Енисейский р-н, с. Назимово. Алянская Н.С., Костина М.В. и Коклина А.Г. (МНА) |
| bor18s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Казахстан, Актыбинская область, горы Мугуджары. А.К. Скворцов (МНА) |
| bor20s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Сибирь, Тувинская АССР. Эрзинский р-н, нагорье Сангилен, верховье р. Нарын, А. Королева (МНА) |
| bor21s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Сибирь, Тувинская АССР. Улуг-Хемиский р-н, Тувинская котловина, окр. с. Арыг-Бажи. А. Коминова, В. Шоба (МНА) |
| bor23s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Сибирь, Кемеровская обл., Промышленный р-н. Окрестности дер. Плотниково. О.А. Хохрякова (МНА) |
| bor24s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Якутская АССР, 215 км от г. Якутска вниз по р. Лене, вблизи устья р. Белянка 63°30' с.ш., 128°50' в.д. И.М. Красноборов (МНА) |
| bor25s | <i>G. boreale</i> (Сибирь) | Хакасия, Орджоникидзевский р-н, окр. п. Малая Сья. М. Ломоносова и С. Тыщенко (МНА) |
| bor1fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Хабаровский край, приустьевая часть. Мивников (МНА) |
| bor3fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Хабаровский край, Ульчский район. Левобережье Амура. Отроги г. Холан. Гаревый лиственничник. № 29 Шага (МНА) |
| bor4fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Приморский край, Хасанский р-н, на юг от ж. д. ст. Рязоновка И.А. Щанцер (МНА) |
| bor8fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Хабаровский край, Еврейская автономная обл., окрестности кульдор, лиственничник. В.М. Двораковская и А.Г. Куклино (МНА) |
| bor9fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Хабаровский край, Совгаванский р-н. А.А. Нагаев (МНА) |
| bor11fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Камчатская обл., Петропавловск-Камчатск, берег Авачинской бухты. Т. Совейкина и В. Двораковская (МНА) |
| bor12fe | <i>G. boreale</i> (Дальний Восток РФ) | Камчатская обл. Корякский округ. С. Харкевич (МНА) |
| par3fe | <i>G. paradoxum</i> (Дальний Восток РФ) | Приморье, Чугуевский район, г. Облачная, 07. 1983 (МНА) |
| rub_12x | <i>G. rubioides</i> 2x = 132 | Румыния, S. Turda Schlucht, F. Krendl no. 12547 (W) |
| rub_12x | <i>G. rubioides</i> 2x = 132 | Румыния, 2—3 км. E. Muhlbach, F. Krendl no. 12636 (W) |
| rub_12x | <i>G. rubioides</i> 2x = 132 | Румыния, Westgebirge, 22° 2' в.д., 45° 49' с.ш.; F. Krendl no. 2000-02622 (W) |
| rub_12x | <i>G. rubioides</i> 2x = 132 | СССР: Таврия meridionalis, F. Krendl no. 2000-02832 (W) |
| art1 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Беларусь, Витебская обл., Витебск, Джус М., Шишко И. (МНА) |
| art2 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Курская обл., заповедник Стрелецкая степь, Хохряков (МНА) |
| art6 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Донецкая обл., Славянский район. В. Васильев. (МНА) |
| art7 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., окрестности г. Волгограда. Е. Маченко (МНА) |
| art10 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Алексеевский р-н. Маценко. (МНА) |
| art11 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл. Подшарениик. В. Цериамов, А. Багров (МНА) |
| art15 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область, Михайловский р-н. Гогина, (МНА) |

| Обозначение | Вид | Образец |
|----------------|--|--|
| art22 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область, Фроловский район. 49° 45' с.ш. — 43° 20' в.д. И. Шанцер и М. Полонская (МНА) |
| art23 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область. Иловлинский р-н. В.В. Макаров (МНА) |
| art30 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область, район Фроловский. З.И. Хотива и А.Е. Маценко (МНА) |
| art32 | <i>G. articulatum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Серафимовичский р-н. В.А. Бочкин и Г.Ю. Клиноква (МНА) |
| rub2, rub3 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Белгородская обл., Вейделевский р-н. 50°08,5' с.ш., 38° 22' в.д. А.К. Мамонтов (МНА) |
| rub6 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Белгородская область, Вейделевский район. 50°08,5' с.ш., 38° 22' в.д., А.К. Мамонтов (МНА) |
| rub8 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Белгородская область, Губкинский район, 37° 26' в.д., 50° 02' с.ш., Н.М. Решетникова и А.К. Мамонтов (МНА) |
| rub12 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Брянская область, Новозыбковский район. Г. Проскурякова (МНА) |
| rub17 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Калужская область, Козельский район, А. Скворцов и Г. Проскурякова (МНА) |
| rub21, rub23 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область, Урюпинский район, 50° 54' с.ш., 41° 55' в.д. Г. Клиноква (МНА) |
| rub25 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Саратовская обл., Перелюбский район, 51° 46' с.ш. – 50° 35' в.д. В. Сагалаев, В. Бочкин, Г. Клиноква (МНА) |
| rub28, rub39 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., район Иловлинский, собр. И. Шанцер, Г. Клиноква (МНА) |
| rub44 | <i>G. rubioides</i> (Европейская часть РФ) | Воронежская область, Новоусманский р-н, село Рогачёвка. Ворошилов. №: 323 (МНА) |
| rub1s | <i>G. rubioides</i> (Сибирь) | Сибирь, Красноярский край, Н.С. Ланская, М.В. Костина; А.Г. Куклина (МНА) |
| phy1 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., район Даниловский, И. Шанцер (МНА) |
| phy1s | <i>G. physocarpum</i> (Сибирь) | Сибирь, левый приток р. Обь, 80 км от пос. Лабитнанги. Р. Ланготюган, А.Н. Прусаков (МНА) |
| phy2, phy3 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., район Фроловский, И. Шанцер (МНА) |
| phy6 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Серафимовичский р-н. Н.Б. Беянина и С. Удинцева (МНА) |
| phy8 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Руднянский район, В. Сагалаев (МНА) |
| phy9 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Правобережье р. Дон. По границе Иловлинского и Калаевского районов. Н.Б. Беянина (МНА) |
| phy12 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Иловлинский район. Н.Б. Беянина (МНА) |
| phy13 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская обл., Жирновский р-н, Н.Б. Беянина, А.Е. Маценко (МНА) |
| phy14 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Волгоградская область, Алексеевский район, Н.Б. Беянина, С. Удинцева (МНА) |
| phy15 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Брянская обл. Клетнянский район, А.К. Скворцов |
| phy21, phy22 | <i>G. physocarpum</i> (Европейская часть РФ) | Белгородская обл., Борисовский район. А.К. Скворцов (МНА) |
| pla1fe, pla2fe | <i>G. platygalium</i> (Дальний Восток РФ) | Хабаровский край, район им. Лазо. С.Д. Шлотгауэр (МНА) |

Измерения диаметра пыльцевых зерен были проведены по крайней мере на 20 образцах, в то время как другие авторы анализировали 10 образцов. Были рассчитаны полярная ось (P), экваториальный диаметр (E) и их отношение друг

к другу (P/E). Световая микроскопия была проведена с использованием микроскопа Olympus type BH-2. Микрофотографии были получены с использованием установки для микрофотосъемки Olympus.

Результаты исследований и их обсуждение. Интересно отметить высокое сходство морфологии пыльцы изученных видов: наличие небольших, бороздчатых и перфорированных пыльцевых зерен с поверхностными шипиками. Поры простые, что довольно редко встречается у Rubiaceae, число их колеблется между 5 и 10, но наиболее часто встречается наличие 7—8 пор.

Полярность и симметрия. Все виды имеют равнополярные и радиально-симметричные пыльцевые зерна.

Форма пыльцы. Согласно W. Punt и др. [14] соотношение между средним значением полярной оси (P) и средней величиной экваториального диаметра (E) может быть использовано для распределения пыльцевых зерен по классам:

$P/E = 0,75—0,875$ — сплюсненные с полюсов,

$P/E = 0,875 \rightarrow 1,0$ — сплюсненные сфероидальные,

$P/E = 1,0$ — сфероидальные,

$P/E < 1,0—1,4$ — удлинненные эллипсоидальные,

$P/E = 1,14—1,33$ — продолговатые,

$P/E = 1,33—2,0$ — вытянутые.

На рис. 3 представлены соотношения полярной оси к среднему значению экваториального диаметра для каждого из изучаемых видов. Значения, полученные для пыльцевых зерен сплюсненной и сплюсненной с боков форм, лежат выше этой линии, сплюсненной с полюсов и сфероидальной форм, находятся близко к линии. Очевидно, что значения сфероидальных зерен будут находиться под углом 45° к линии, вытянутых и вытянутых с боков — ниже линии, удлинненной эллипсоидальной и продолговатой формы — близко к линии.

Среди исследованных видов нет значительных изменений формы пыльцы. Пыльцевые зерна, как правило, сфероидальные, удлинненные эллипсоидальные или сплюсненные сфероидальные (рис. 1, 2). Сфероидальные — *G. boreale* тетра- и гексаплоиды *G. septentrionale*, *G. mugodsharicum* и *G. amurense*; удлинненные эллипсоидальные — *G. boreale* (диплоид), *broterianum* (диплоид), *G. valantioides* (диплоид) and *G. articulatum*; сплюсненные сфероидальные — *G. rubioides* (додекаплоид), *G. Physocarpum*, *G. ussuriense*.

Диаметрально противоположная точка зрения состоит в том, что пыльцевые зерна в основном круглые, часто слегка лопастные из-за глубоко погруженных борозд.

Размер пыльцы. Размер пыльцевого зерна *Galium sect. Platygaliium* относительно мал (табл. 2). Только у трех видов длинная ось равна или превышает 20,0 мкм: *G. rubioides* (додекаплоид), *G. septentrionale* и *G. articulatum*. С другой стороны, наименьший размер пыльцы можно обнаружить у диплоидных видов, т.е. у *G. boreale* (2x) (рис. I: 1), *G. valantioides* (рис. I: 5) и *G. broterianum* (рис. I: 6), у которых средний диаметр пыльцевого зерна колеблется от от $\pm 14,0$ до ± 16 мкм; среди остальных изучаемых таксонов средний диаметр колеблется от $\pm 17,0$ до $\pm 20,0$ мкм.

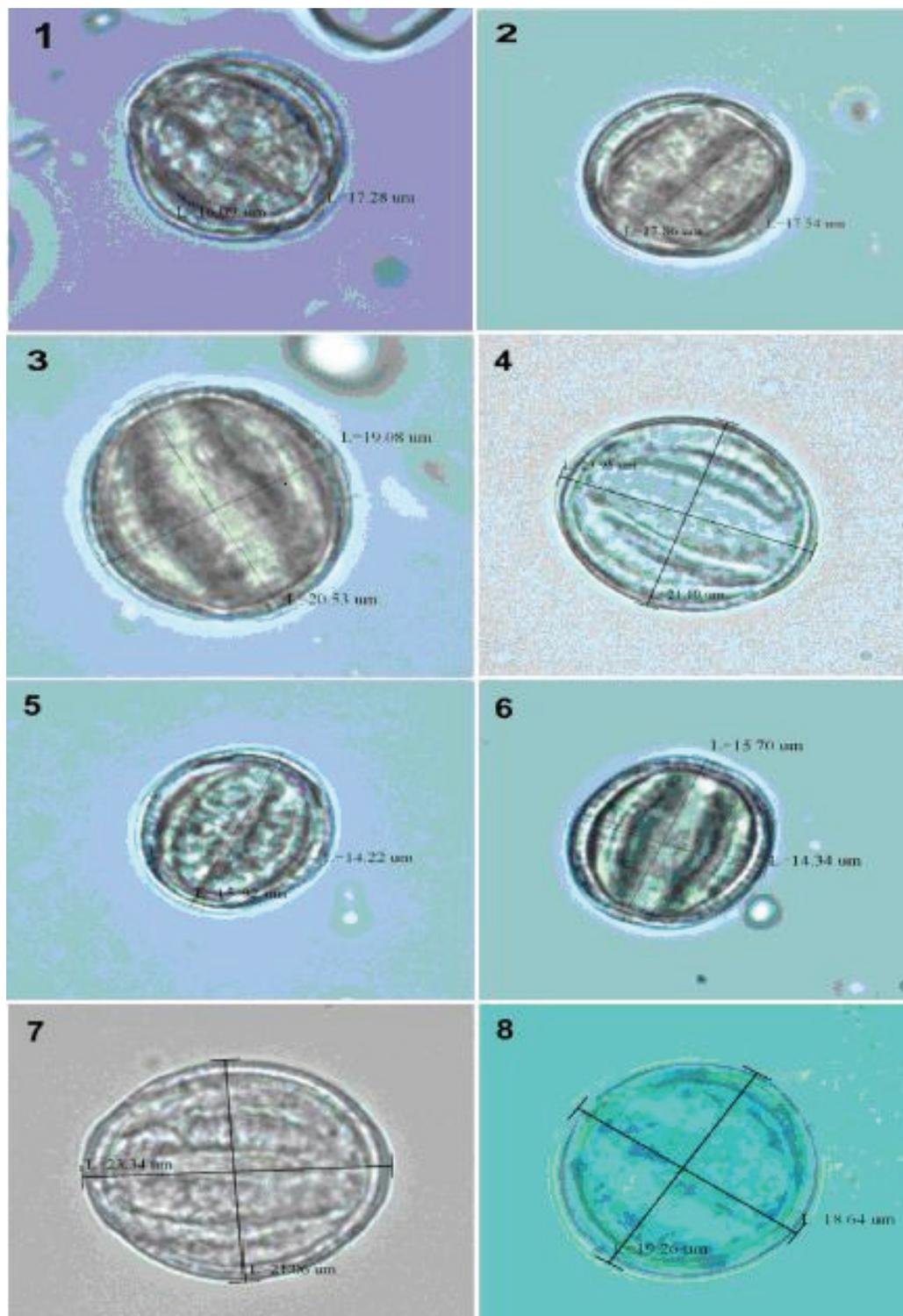


Рис. 1. Фотографии пыльцевых зерен с помощью светового микроскопа:

1. *G. boreale* (2x), 2. *G. boreale* (4x), 3. *G. boreale* (6x), 4. *G. rubioides* (12x), 5. *G. valantioides*
6. *G. broterianum*, 7. *G. articulatum*, 8. *G. physocarpum*

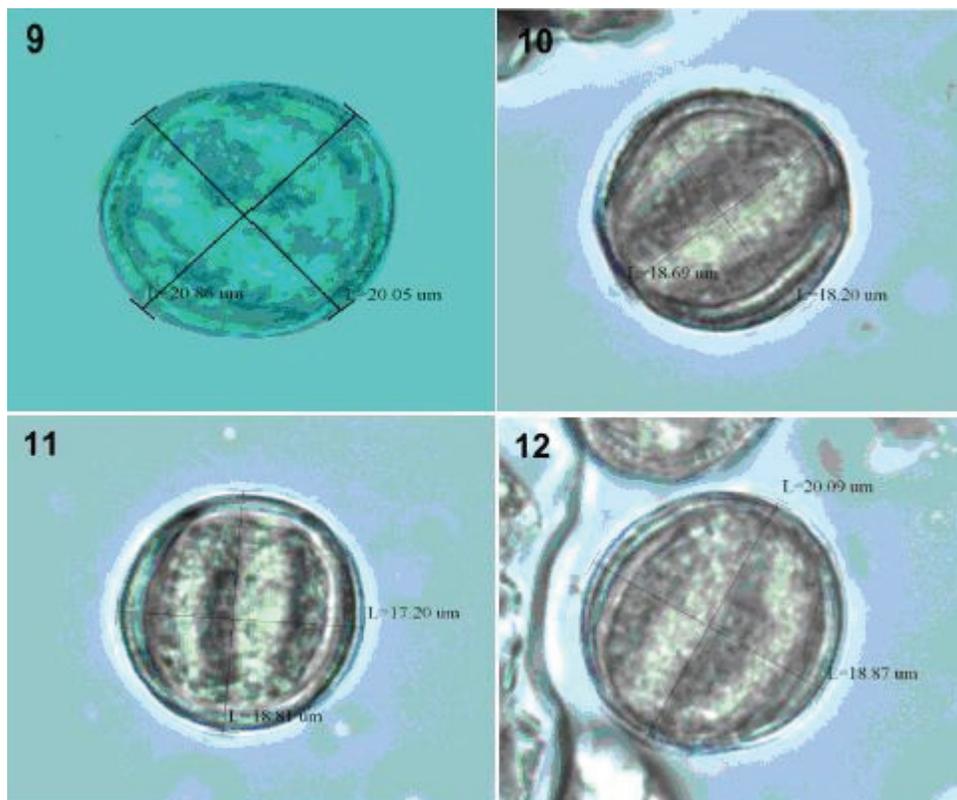


Рис. 2. Фотографии пыльцевых зерен с помощью светового микроскопа:
9. *G. septentrionale*, 10. *G. ussuriense*, 11. *G. mugodsharicum*, 12. *G. amurense*

- + *G. boreale* L. ($2n=2x=22$)
- ▣ *G. boreale* ($2n=4x=44$)
- ✕ *G. boreale* ($2n=6x=66$)
- ◇ *G. rubioides* ($2n=12x=132$)
- ◆ *G. valantioides* ($2n=2x=22$)
- *G. broterianum* ($2n=2x=22$)
- *G. rubioides*
- *G. articulatum*
- × *G. Physocarpum*
- ▲ *G. septentrionale*
- △ *G. ussuriense*
- *G. mugodsharicum*
- ⊠ *G. amurense*

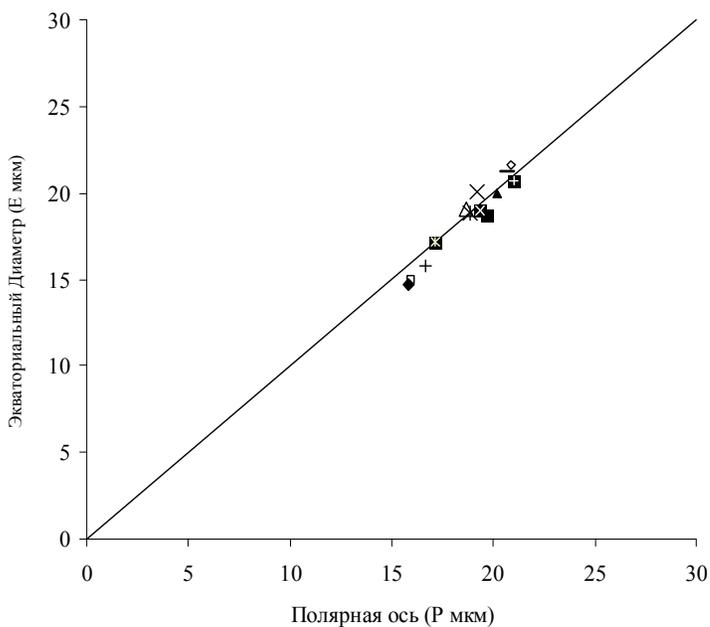


Рис. 3. Форма и размер пыльцы

**Морфологические особенности пыльцы изучаемых таксонов:
полярная ось (Р), экваториальный диаметр (Е), соотношение между полярной осью
и экваториальным диаметром (Р/Е)**

| № | Вид | Полярная ось (Р мкм) | | Экваториальный диаметр (Е мкм) | | Р/Е | Форма пыльцевого зерна |
|----|---|-------------------------|----------|-----------------------------------|----------|-------|----------------------------|
| | | Диапазон | Значение | Диапазон | Значение | | |
| 1 | <i>G. boreale</i> L. (2n = 2x = 22) | 16,14— 17,21 | 16,68 | 15,1—16,29 | 15,76 | 1,059 | Удлиненная эллипсоидальная |
| 2 | <i>G. boreale</i> L. (2n = 4x = 44) | 16,54— 18,27 | 17,15 | 14,68— 18,81 | 17,21 | 0,996 | Сфероидальная |
| 3 | <i>G. boreale</i> L. (2n = 6x = 66) | 18,24— 19,49 | 18,83 | 17,88— 20,01 | 18,80 | 1,002 | Сфероидальная |
| 4 | <i>G. rubioides</i> L. (2n = 12x = 132) | 19,85— 22,07 | 20,87 | 21,00— 22,68 | 21,63 | 0,965 | Сплюснутая сфероидальная |
| 5 | <i>G. valantioides</i> M. B.(2n = 2x = 22) | 14,27— 17,32 | 15,82 | 12,77— 15,64 | 14,69 | 1,076 | Удлиненная эллипсоидальная |
| 6 | <i>G. broterianum</i> Boiss. & Reut. (2n = 2x = 22) | 14,84— 17,45 | 15,94 | 13,91— 15,88 | 14,97 | 1,064 | Удлиненная эллипсоидальная |
| 7 | <i>G. articulatum</i> Lam. | 18,81— 23,38 | 21,03 | 14,46— 23,18 | 20,69 | 1,016 | Удлиненная эллипсоидальная |
| 8 | <i>G. physocarpum</i> Ldb. | 17,65— 20,70 | 19,23 | 18,75— 23,31 | 20,09 | 0,957 | Сплюснутая сфероидальная |
| 9 | <i>G. septentrionale</i> Roem. & Schult. | 17,57— 21,48 | 20,16 | 18,64— 21,37 | 19,98 | 1,008 | Сфероидальная |
| 10 | <i>G. ussuriense</i> Pobed. | 17,46— 18,62 | 18,00 | 17,88— 19,07 | 18,475 | 0,974 | Сплюснутая сфероидальная |
| 11 | <i>G. mugodsharicum</i> Pobed. | 18,25— 19,67 | 18,96 | 17,15— 18,75 | 17,95 | 1,056 | Сфероидальная |
| 12 | <i>G. amurense</i> Pobed. | 15,79— 21,26 | 19,387 | 16,88— 21,44 | 18,980 | 1,021 | Сфероидальная |

Число хромосом и полиплоидия. Многочисленные подсчеты чисел хромосом видов *sect. Platygaliium* были сделаны F. Krendl и F. Ehrendorfer (природный музей Вены (W) и институт ботаники Венского университета (WU) Австрия). В качестве отправной точки в работе использовались образцы с известным числом хромосом (табл. 1), результаты показаны на рис. 4 и 5, была проверена гипотеза о корреляции и показано, что для видов *sect. Platygaliium* характерно наличие ди-, тетра-, гекса-, окта-, дека-, додекаплоидность и более высокий уровень плоидности.

По-видимому, диплоидность встречается у экземпляров *G. boreale*, собранных в Сибири, *G. valantioides*, *G. broterianum* и частично *G. amurense*. Тетраплоидия характерна для *G. boreale*, *G. rubioides*, собранных в Европе и частично для *G. amurense*; гексаплоидия — встречается частично у *G. boreale*, *G. rubioides* and *G. physocarpum*, собранных в Европе и Сибири, частично для *G. amurense*, *G. septentrionale*, *G. mugodsharicum*, *G. articulatum* and *G. platygaliium*; окта- и декаплоидия — для *G. rubioides* and *G. physocarpum*, собранных в Европе и для *G. boreale*, собранных в Сибири. Додекаплоидия характерна для *G. rubioides*, *G. articulatum*, *G. physocarpum*, собранных в Европе, и для *G. amurense* (рис. 5).

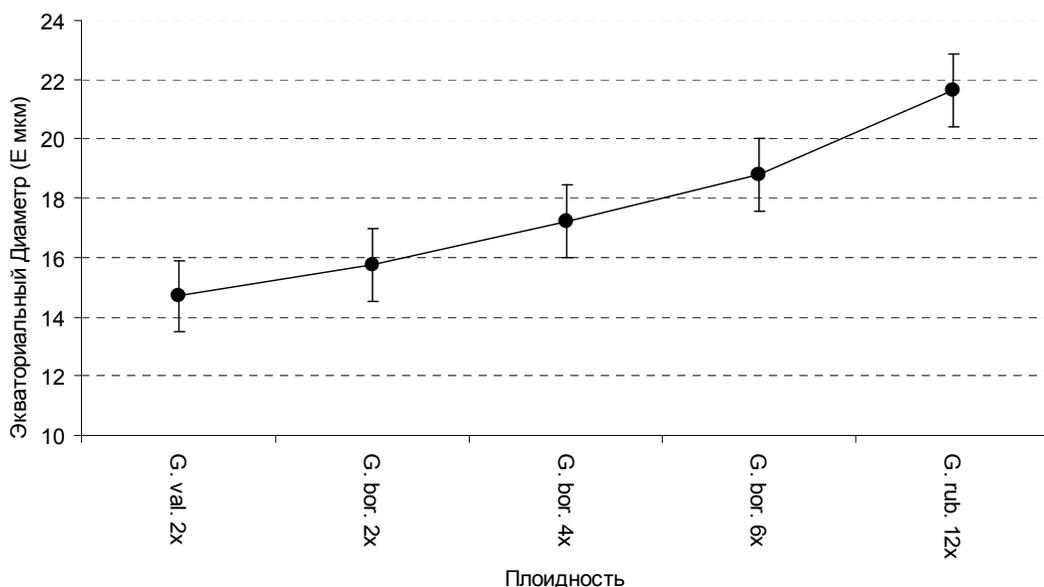


Рис. 4. Средняя величина и стандартные ошибки для четырех групп размеров пыльцевых зерен, соответствующих 2х, 4х, 6х и 12х.

Значимость корреляции, рассчитанная в программе PAST $\rho = 2 \times 10^{-126}$

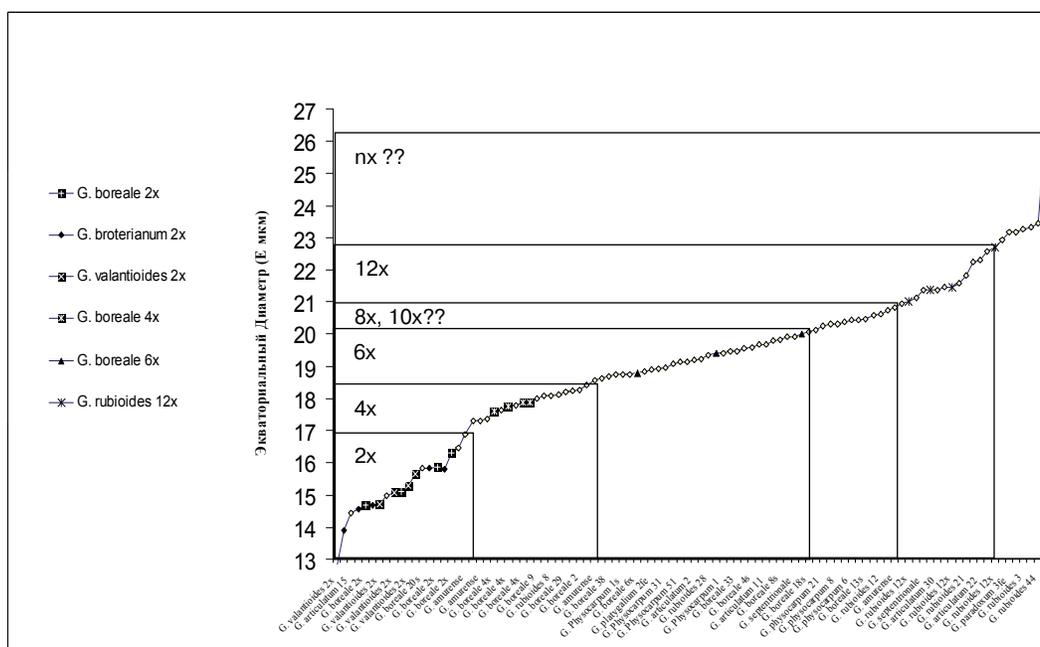


Рис. 5. Средний диаметр пыльцы различных таксонов *Galium* sect. *Platygalium* с вариантами разделительных линий для ди-тетра-гекса-гепта-окта-додека- полиплоидов и экземпляров более высокого уровня плоидности.

Образцы с известным числом хромосом, как указано слева, отмечены разными знаками

Заключение. Диаметр пыльцевого зерна у исследованных видов sect. *Platygalium* положительно коррелирует с уровнем плоидности.

В основном род *Galium* палинологически однотипный. Морфология пыльцы сходна, особенно в связи со следующими характеристиками: бороздчатые, перфорированные зерна с микрошипиками. Данные результаты сопоставимы с результатами [1]. Пыльца, как правило, имеет сфероидальную, удлинненную эллипсоидальную или сплюсненную сфероидальную форму.

Диплоидность, по-видимому, характерна для представителей с удлинненной эллипсоидальной формой пыльцы, в то время как сфероидальная форма связана с тетра- и гексаплоидией, с другой стороны, сплюсненные пыльцевые зерна обнаружены у додекаплоидов и образцов с более высоким уровнем полиплоидии.

Распространение диплоидов группы *G. boreale* среди изучаемых таксонов ограничивается только границами Сибири, ограничение для диплоидов *G. rubioides* не зафиксировано, в то время как тетраплоиды *G. boreale* and *G. rubioides* обнаружены только в Европе. С другой стороны, гексаплоиды группы *G. boreale* и *G. rubioides*, по-видимому, распространены по всей Евразии.

Окта- и додекаплоиды, по всей видимости, имеют очень узкие ареалы, и их происхождение не вполне понятно. Предположительно окта- и додекаплоиды имеют узколокальное происхождение и распространение.

В России неизвестны виды или внутривидовые таксоны, которые полностью являются окта- или додекаплоидами. Тем не менее, было установлено, что растения с такой плоидностью попадают среди *G. boreale*, *G. rubioides* и *G. physocarum* по всей Евразии, с некоторым повышением их встречаемости в азиатской части Сибири.

Обнаружено, что додекаплоиды и экземпляры с плоидностью выше додекаплоиды распространены только в Европе. Таким образом, палиноморфологические данные показали, что в *sect. Platygalium* размер пыльцы может быть непосредственно связан с числом хромосом, а также может быть использован в качестве дополнительного приема для установления эволюционных тенденций и филогенетического отношения между видами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abdel Khalik K., Abd El-Ghani M.M. & Elkordy A. A palynological study of *Galium* L. (Rubiaceae) in Egypt and its systematic implication // Feds. Rep. 2007. V. 118. P. 311—326.
- [2] Bremekamp C.E.B. The African species of *Oldenlandia* L. sensu Hiern et K. Schuman. Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch., Afd. Natuurk // Tweed Sect. 1952. V. 48. P. 1—297.
- [3] Bremekamp C.E.B. Remarks on the position, delimitation and the subdivision of the Rubiaceae // Acta Bot. nederl. 1966. V. 15. P. 1—33.
- [4] Dessein S., Ochoterena H., De Block H., Lens F., Robbrecht E., Schols P., Smets E., Vinckier S., Huysmans S. Palynological Characters and Their Phylogenetic Signal in Rubiaceae // Bot. Rev. 2005. V. 71(3). P. 354—414.
- [5] Dessein S., Huysmans S., Robbrecht E., Smets E. Pollen of African Spermaceae species (Rubiaceae). Morphology and evolutionary aspects // Grana. 2002. V. 41. P. 69—89.
- [6] Dessein S., Scheltens A., Huysmans S., Robbrecht E., Smets E. Pollen morphological survey of *Pentas* (Rubiaceae- Rubioideae) and its closest allies // Rev. Palaeobot. Palynol. 2000. V. 112. P. 189—205.

- [7] Ehrendorfer F., Krendl F., Puff C. *Galium* L. in: T.G. Tutin, V.H. Heywood, N.A. Burges, D.M. Moore, D.H. Valentine, S.M. Walters, and D.A. Webb (eds.) // *Flora Europaea*. 1976. V. 4. P. 14—36. Cambridge University Press, New York, New York, U.S.A.
- [8] Huysmans S., Dessein S., Smets E., Robbrecht E. Pollen morphology of NW European representatives confirms monophyly of Rubieae (Rubiaceae) // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2003. V. 127. P. 219—240.
- [9] Katsiotis A., Forsberg R.A. Pollen grain size in four ploidy levels of genus *Arena* // *Euphytica*. 1995. V. 83. P. 103—108.
- [10] Lewis W.H. Cytopalynological study of African Hedyotideae (Rubiaceae) // *Ann. Miss. Bot. Gard.* V. 52. P. 182—211.
- [11] Lewis W.H. Pollen morphology and evolution in Hedyotis subgenus *Edrisia* (Rubiaceae) // *Amer. J. Bot.* 1965. V. 52. P. 257—264.
- [12] Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. *Pollen Analysis*. 1991. 2nd ed. P. 216. Blackwell, Oxford.
- [13] Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Thomas A.L. Glossary of pollen and spore terminology // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2007. V. 143. P. 1—81.
- [14] Punt W., Blackmore S., Nilsson S., Thomas L.F. Glossary of pollen and spore terminology. 1994. LPP contributions ser. 1, Utrecht.
- [15] Schanzer I., Ehrendorfer F. Multivariate analysis, systematics, and distribution of *Galium* sect. *Orientalgalium* Ehrend. (Rubiaceae) in the Caucasus region // *Candollea*. 2002. V. 57. P. 329—357.
- [16] Verdcourt B. Remarks on the classification of the Rubiaceae // *Bull. Jard. Bot. État.* 1958. V. 28. P. 209—290.

ON THE CORRELATION OF POLLEN GRAIN SIZE AND PLOIDY LEVELS OF GENUS *GALIUM* SECT. *PLATYGALIUM*

I.A. Schanzer¹, A. Elkordy²

¹Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
Botanicheskaya str., 4, Moscow, Russia, 127276

²Department of botany, plant physiology and agrobiotechnology
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198

Pollen grain size of some species of *Galium* section *Platygalium* (Rubiaceae) have been studied in diploids ($2n = 2 \times = 22$, in *G. boreale*, *G. valantioides*, *G. broterianum*), tetraploids ($2n = 4 \times = 44$, in *G. boreale*), hexaploids ($2n = 6 \times = 66$, in *G. boreale*) and in dodecaploid ($2n = 12 \times = 132$, in *G. rubioides*), and many other species and specimens related to section *Platygalium*. Pollen grain size, for *G. boreale* diploide (P = 16.68 μm , E=15.76 μm), *G. valantioides* (P = 15.82 μm , E = 14.69 μm), *G. broterianum* (P = 15.94 μm , E = 14.97 μm); for *G. boreale* tetraploids (P = 17.15 μm , E = 17.21 μm); for *G. boreale* hexaploids (P = 18.83 μm , E = 18.80 μm) and (P = 20.87 μm , E = 21.63 μm) *G. rubioides* dodecaploid, was positively correlated with ploidy level. The results verify the expected correlation between mean pollen diameters and ploidy levels, and demonstrate that apparent di-, tetra-, hexa- octa-, deca-, dodeca- and possibly higher polyploidy occur among the species of sect. *platygalium*. Palynomorphological data revealed that in sect. *Platygalium*, pollen size can be directly associated with chromosome number and can also be used as an additional tool to establish evolutionary trends and taxonomic relationship among species.

Key words: Rubiaceae, *Galium*, *Platygalium*, pollen grain, correlation, ploidy level.

REFERENCES

- [1] *Abdel Khalik K., Abd El-Ghani M.M. & Elkordy A.* A palynological study of Galium L. (Rubiaceae) in Egypt and its systematic implication // *Feds. Rep.* 2007. V. 118. P. 311—326.
- [2] *Bremekamp C.E.B.* The African species of Oldenlandia L. sensu Hiern et K. Schuman. *Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch., Afd. Natuurk // Tweed Sect.* 1952. V. 48. P. 1—297.
- [3] *Bremekamp C.E. B.* Remarks on the position, delimitation and the subdivision of the Rubiaceae // *Acta Bot. nederl.* 1966. V. 15. P. 1—33.
- [4] *Dessein S., Ochoterena H., De Block H., Lens F., Robbrecht E., Schols P., Smets E., Vinckier S., Huysmans S.* Palynological Characters and Their Phylogenetic Signal in Rubiaceae // *Bot. Rev.* 2005. V. 71(3). P. 354—414.
- [5] *Dessein S., Huysmans S., Robbrecht E., Smets E.* Pollen of African Spermaceo species (Rubiaceae). Morphology and evolutionary aspects // *Grana.* 2002. V. 41. P. 69—89.
- [6] *Dessein S., Schelkens A., Huysmans S., Robbrecht E., Smets E.* Pollen morphological survey of Pentas (Rubiaceae- Rubioideae) and its closest allies // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2000. V. 112. P. 189—205.
- [7] *Ehrendorfer F., Krendl F., Puff C.* Galium L. in: T.G. Tutin, V.H. Heywood, N.A. Burges, D.M. Moore, D.H. Valentine, S.M. Walters, and D.A. Webb (eds.) // *Flora Europaea.* 1976. V. 4. P. 14—36. Cambridge University Press, New York, New York, U.S.A.
- [8] *Huysmans S., Dessein S., Smets E., Robbrecht E.* Pollen morphology of NW European representatives confirms monophyly of Rubieae (Rubiaceae) // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2003. V. 127. P. 219—240.
- [9] *Katsiotis A., Forsberg R.A.* Pollen grain size in four ploidy levels of genus *Arena* // *Euphytica.* 1995. V. 83. P. 103—108.
- [10] *Lewis W.H.* Cytopalynological study of African Hedyotideae (Rubiaceae) // *Ann. Miss. Bot. Gard.* V. 52. P. 182—211.
- [11] *Lewis W.H.* Pollen morphology and evolution in Hedyotis subgenus *Edrisia* (Rubiaceae) // *Amer. J. Bot.* 1965. V. 52. P. 257—264.
- [12] *Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E.* *Pollen Analysis.* 1991. 2nd ed. P. 216. Blackwell, Oxford.
- [13] *Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Thomas A.L.* Glossary of pollen and spore terminology // *Rev Palaeobot Palynol.* 2007. V. 143. P. 1—81.
- [14] *Punt W., Blackmore S.; Nilsson S., Thomas L.F.* Glossary of pollen and spore terminology. 1994. LPP contributions ser. 1, Utrecht.
- [15] *Schanzer I., Ehrendorfer F.* Multivariate analysis, systematics, and distribution of Galium sect. *Orientigalium* Ehrend. (Rubiaceae) in the Caucasus region // *Candollea.* 2002. V. 57. P. 329—357.
- [16] *Verdcourt B.* Remarks on the classification of the Rubiaceae // *Bull. Jard. Bot. État.* 1958. V. 28. P. 209—290.