

СЕМЕЙСТВО ГЕРАНИЕВЫЕ (GERANIACEAE JUSS.) ФЛОРЫ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Феоктистов Д.С.^{1,2}, Науменко Н.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», Курган, Россия, e-mail: feoktistovdmitriy@gmail.com;

² ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия

Изучен видовой состав и проведён анализ распространения растений семейства Гераниевые (*Geraniaceae* Juss.) флоры Южного Зауралья. Конспект флоры этой территории включает 9 видов рода *Geranium* L. Методом многомерного шкалирования выявлены наиболее важные диагностические признаки морфологии вегетативных и генеративных органов для определения видов рода *Geranium* L. При проведении морфометрического анализа морфологических признаков выявлен комплекс наиболее важных диагностических признаков, в числе которых - ширина и размер листовой пластинки; характер опушения листьев, степень рассечённости листовой пластинки, цвет и размер венчика, число цветков на цветоносе. Обсуждена возможность использования их для целей биоиндикации. Показано, что географическое распространение изученных видов отражает ботанико-географическую схему зонального и секторного членения Зауральской лесостепи.

Ключевые слова: семейство *Geraniaceae*, многомерное шкалирование, биоиндикация, Южное Зауралье, лесостепная зона.

GERANIUM FAMILY (GERANIACEAE JUSS.) OF THE FLORA OF SOUTHERN TRANS-URAL'S REGION

Feoktistov D.S.^{1,2}, Naumenko N.I.¹

¹*Kurgan State University, Kurgan, Russia, e-mail: feoktistovdmitriy@gmail.com;*

²*National research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

Results of studying of specific structure and the analysis of distribution of plants of *Geranium* family (*Geraniaceae* Juss.) of flora of Southern Trans-Ural's region are presented. The checklist of this flora included 9 species of the genus *Geranium* L. With the method of multidimensional scaling the most important diagnostic signs of morphology of vegetative and generative parts for definition of types of the genus *Geranium* L. are revealed. The complex of the most significant morphological signs for specific diagnostics of the studied types is revealed: size, width and degree of a separateness of a leaf plate; extent of omission of leaves; color of petals, the size and the quantity of flowers on flower branch. Possibility of their use for bioindication is discussed. It is shown that geographical distribution of the studied types reflects the biogeographical scheme of zone and sector partitioning of the Trans-Ural's forest-steppe.

Keywords: *Geranium* family (*Geraniaceae* Juss.), method of multidimensional scaling, bioindication, Southern Trans-Ural's region, forest-steppe biogeographical zone

Мировая флора насчитывает до 800 видов семейства Гераниевые (*Geraniaceae* Juss.), распространенных в основном в тропиках северного и южного полушарий. Значительно меньшим числом видов представлены Гераниевые в умеренных широтах: так, «Конспект флоры Азиатской России» [3] включает всего 29 видов этого семейства, во «Флоре Восточной Европы» [7] приводится 46 видов гераниевых.

Несмотря на то, что история изучения семейства *Geraniaceae* насчитывает более трех веков, в настоящее время вопрос разработки системы семейства в мировом масштабе все еще остается открытым [5, 8, 9, 10]. Региональные исследования гераней являются актуальными для выявления реальной картины таксономического разнообразия и географического

распределения представителей этого семейства на разных территориях. Вышесказанным были определены **цель** и **задачи** нашей работы.

Цель исследования: выявление и анализ видового состава гераней (*Geranium* L., Geraniaceae Juss.) Южного Зауралья. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Сбор, определение и анализ гербарного материала семейства Geraniaceae;
2. Изучение морфологических особенностей видов рода *Geranium* флоры Южного Зауралья.
3. Проведение морфометрического анализа изученных видов семейства Geraniaceae с целью выявления наиболее значимых диагностических признаков.
4. Составление и анализ аннотированного списка видов гераней флоры Южного Зауралья; дополнение и уточнение характера распространения гераней на рассматриваемой территории.

Материалы и методы исследования

Маршруты исследования и используемые материалы. Полевые исследования со сбором гербарного материала проводились сочетанием метода конкретных флор и маршрутного метода. В ходе экспедиций и ботанических экскурсий в сезоны 1986-2011 гг. были собраны и проанализированы материалы из различных зон и подзон равнинного Зауралья (от степной на юге до подтаежной на севере). Общая протяжённость маршрутов составила более 3000 км. Весь собранный нами гербарий хранится в лаборатории «Гербарий и ботанический музей» при Курганском государственном университете, часть образцов передана в Гербарии Санкт-Петербургского государственного университета и Ботанического института РАН. Коллекции, хранящиеся в указанных учреждениях, стали материалом для нашего исследования. Помимо гербарных образцов, при выполнении морфологического анализа учтены полевые описания, выполненные нами в сезоны 2008-2011 гг., а также опубликованные материалы [3, 4]. Отработаны методики определения видов семейства *Geraniaceae* по анализируемым морфологическим признакам изучаемых образцов растений, в том числе с использованием микроскопной системы визуализации на базе фотокамеры Canon ES55 и микроскопа МИН-8 (ЛОМО).

Статистические методы анализа. Для анализа морфометрических данных нами был использован метод многомерного шкалирования. В связи с возросшими возможностями использования компьютеров в биологических исследованиях большое значение получают неметрические методы машинного анализа плохо определенных, так называемых "рыхлых" структур и представление информации о них в форме, приспособленной для восприятия исследователем [1]. К этой области относятся, в частности, методы многомерного шкалирования, позволяющие "изображать" систему объектов с матрицей расстояний или

сходства произвольной природы и размерности совокупностью точек в М-мерном пространстве с минимальным искажением, в смысле того или иного критерия, первоначальной матрицы расстояний. При $M = 2$ объекты представляются в виде точек на двумерной плоскости, что очень удобно для визуального анализа. Первоначально эти методы были разработаны для финансовых расчетов; наиболее подробно суть многомерного шкалирования изложена М. Дейвисоном [2]. В биологии этот способ применим, в первую очередь, для анализа корреляционных матриц, так как позволяет отобразить отношения между признаками в наглядной форме и служит хорошим дополнением к другим, более формальным средствам их исследования [1].

Допустим, имеется конечное множество объектов X и матрица R расстояний или мер сходства между ними, а также произвольное представление C объектов множества X в виде точек на плоскости с координатами: $x_1, y_1, \dots, x_N, y_N$. Введем расстояние между точками i и j :

$$c_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Критерий различия между множеством X и его представлением на плоскости определяется в виде:

$$H(X, C) = \sum_{i,j} (f(r_{ij}) - c_{ij})^2, \text{ где } f - \text{некоторое монотонное преобразование.}$$

В методах многомерного шкалирования выбирается такое представление C^* , для которого функция H принимает наименьшее возможное значение. Это приводит к задаче минимизации H как функции многих переменных $x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N$. Формальные способы расчета достоверности в данном случае отсутствуют, и размерность пространства представлений можно выбирать произвольно. Формальных критериев выбора размерности не существует [1].

Помимо этого, для получения более наглядных и убедительных результатов при обработке матрицы дивергенции можно использовать одновременно методы К-средних и многомерного шкалирования [1]. Наглядные результаты показывает метод многомерного шкалирования в комбинации с корреляционным анализом. В частности, используя этот алгоритм, можно выявить наиболее характерные признаки видов, имеющие диагностическое значение. При этом принадлежность исследуемого образца к тому или иному виду рассматривается как дополнительный признак (0 – образец не принадлежит виду, 1 – образец принадлежит к виду). Для проведения морфометрического анализа нами были выбраны признаки, наиболее часто используемые в ключах для определения растений разными авторами.

Перспективы применения методов многомерного шкалирования очень высоки. Они служат достойной альтернативой более популярным в биологии методам дискриминантного и факторного анализа, результаты которых во многих случаях не пересекаются с результатами, полученными многомерным шкалированием. Нами использовалось двумерное шкалирование при проведении морфометрического анализа. Все расчеты проводились в программе PAST, для построения более наглядных графиков использовался пакет программ STATISTICA 8.0.

Результаты

Основными морфологическими признаками, используемыми для целей систематики семейства *Geraniaceae*, являются: жизненная форма, особенности подземной части растений, степень и характер опушения побегов, форма листьев, форма и размеры лепестков и чашелистиков, расположение, число и длина цветоносов, способ вскрывания плода и характер поверхности его створок. Наиболее сложным для видовой диагностики родом семейства *Geraniaceae* считается род *Geranium*. Для выявления диагностических признаков видов этого рода флоры Южного Зауралья мы предварительно провели морфометрический анализ всех образцов гербария КГУ методом многомерного шкалирования с использованием расстояния Манхеттена. Изучены такие мерные признаки, как количество цветков на цветоносе (N), длина чашелистиков (LC), длина цветоножки (LCN), длина нижнего листа (LLN), длина верхнего листа (LLV), расстояние от основания листа до разреза нижнего листа (LRLN), расстояние от основания листа до разреза верхнего листа (LRLV). Поскольку линейные размеры листа очень вариабельны и зачастую зависят от условий роста, в анализе они были заменены расчетными показателями – отношением длины нижнего и верхнего листа к расстоянию от основания листа до разреза нижнего и верхнего листа, соответственно (LLN\LRLN и LLV\LRLV).

В числе качественных признаков изучены признаки опушения осевых органов (стеблей, цветоносов), завязей и плодов растений. Цветоносы всех видов гераней флоры Южного Зауралья опушены либо простыми, либо железистыми волосками. Также простое или железистое опушение имеют стебли всех видов гераней флоры Южного Зауралья. Кроме того, стебли могут быть покрыты прижатыми или оттопыренными волосками. Еще один признак – опушенный или голый столбик под рыльцем пестика. Для анализа все качественные признаки были закодированы и получили значение либо 0-1, либо 1-2 [4].

Поскольку измерялись гербарные образцы разной степени сохранности и качества фиксации, мы столкнулись с рядом трудностей. В частности, целый ряд признаков у некоторых гербарных экземпляров не сохранился. Поэтому мы провели анализ в двух вариантах. В первом варианте мы удаляли из анализа те гербарные образцы, у которых

отсутствуют отдельные признаки. Во втором варианте отказались от признаков, не определяемых у некоторых образцов.

Таким образом, первый вариант анализа мы проводили по трем мерным, четырем качественным и двум расчетным признакам (рис. 1).

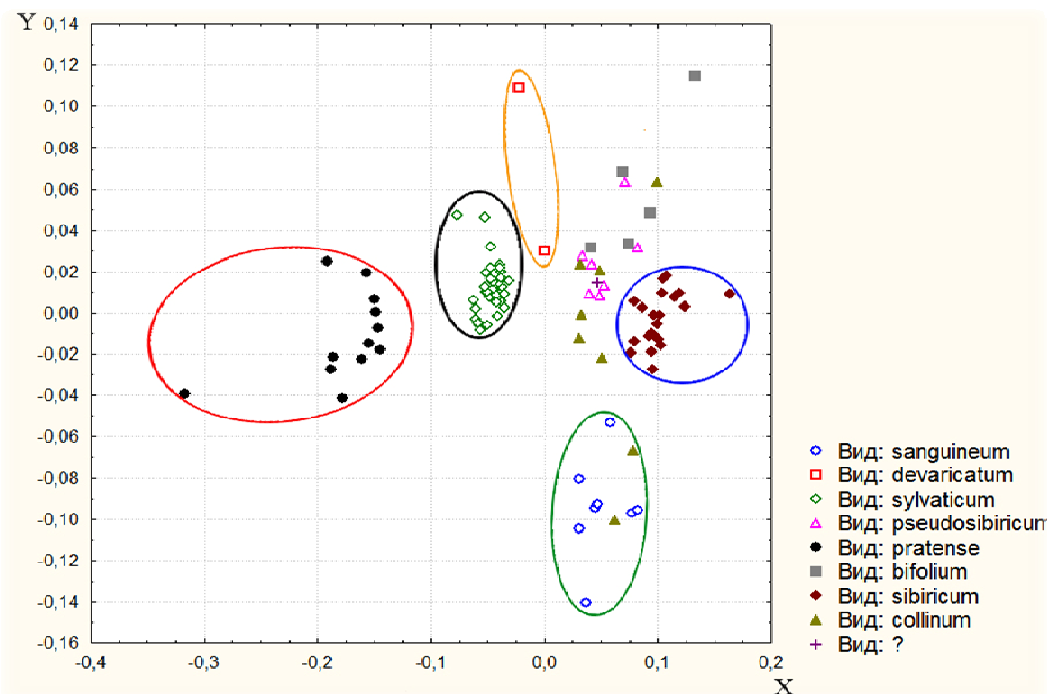


Рис. 1. Морфометрический анализ 1 тип анализа

В первом варианте анализа большинство видов рода *Geranium* чётко обособились из общего облака и только 3 вида (*G. collinum* Steph. ex Willd., *G. bifolium* Patrin, *G. pseudosibiricum* L.) показывают перекрытие по выбранным нами признакам. Отметим, что *G. bifolium* очень близок к *G. pseudosibiricum* (единственный отличительный признак – белые лепестки первого и лилово-розовые второго таксона). Так как цвет лепестков нами не учитывался, эти виды перекрываются. *G. collinum* по выбранным нами признакам также близок к *G. bifolium* и *G. pseudosibiricum*. Гербарный образец, видовую принадлежность которого мы затруднились определить, скорее всего, конспецифичен *G. pseudosibiricum* или *G. bifolium*.

Второй вариант анализа мы провели по одному мерному, трем качественным и двум расчетным признакам. Как и в предыдущем варианте, большинство видов рода *Geranium* чётко обособились в общем облаке и все те же 3 вида остаются критическими. Не определённый нами образец также оказался в этой группе.

На следующем этапе мы провели корреляционный анализ и построили график корреляции вид-признак по двум вариантам анализа (рис. 2).

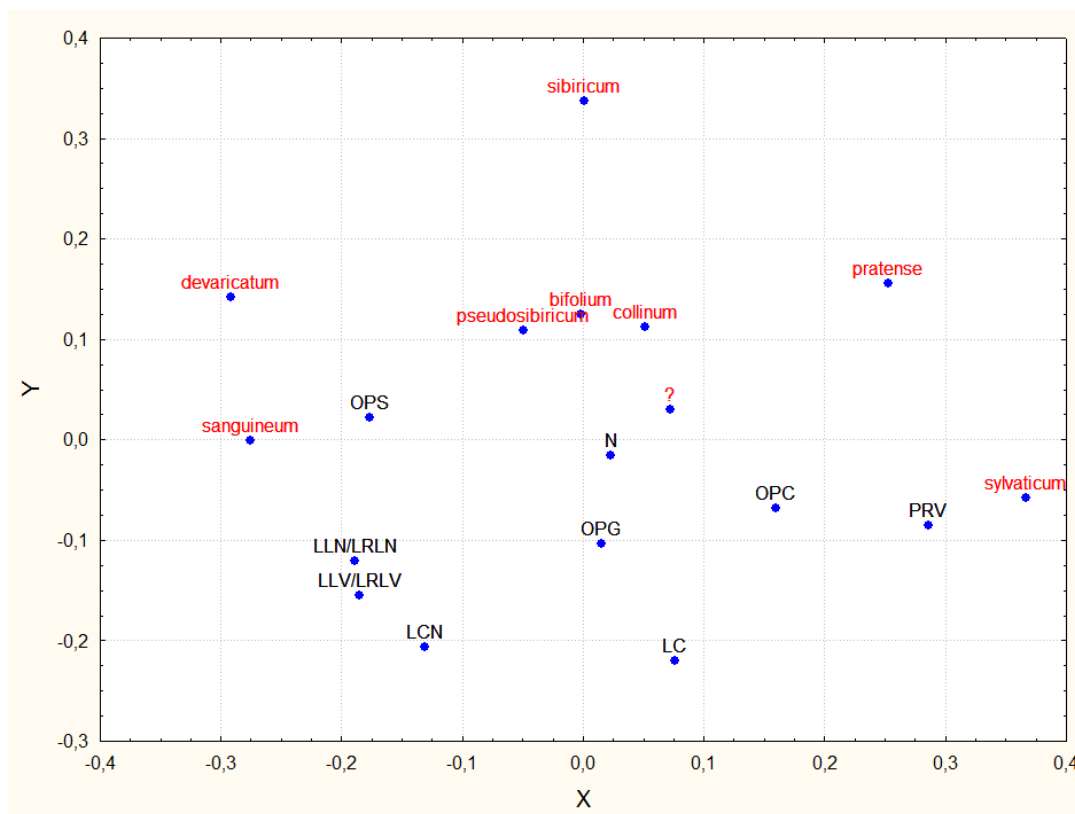


Рис. 2. График корреляции 1 тип анализа

На построенных графиках расстояние от точки вида до точки признака характеризует степень корреляции вида со значением признака. Отметим, что оба графика не противоречат друг другу, но далее для большинства видов лучше использовать первый график, так как он включает большее количество признаков и, как следствие, более информативен.

Обсуждение

Род *Geranium* L. в Южном Зауралье представлен 9 видами из 2 подродов и 4 секций, включая типовую, представленную 2 подсекциями. Объем таксонов принят согласно Н.Н. Цвелеву [7].

Род *Geranium*

Подрод *Geranium*, секция *Geranium*, подсекция *Geranium*.

G. sylvaticum L. (Г. лесная). Имеет венчик разных лилово-розовых оттенков, но очень редко отмечаются альбиносные формы. Стебли до цветоносов не имеют железистого опушения. Вид обычен в пределах тайги, подтайги и в северной лесостепи Зауралья, южнее 55°30' с.ш. встречается редко и преимущественно в местообитаниях речных долин. Следует подчеркнуть, что белоцветковые растения *G. sylvaticum* схожи с близкими видами, приводимыми для соседних районов Урала [7] и не отмеченными в Южном Зауралье: *G. albiflorum* Ledeb., *G. krylovii* Tzvel. и *G. uralense* Kuvajev.

G. pseudosibiricum L. (Г. ложносибирская). Цветки целиком окрашенные, лилово-розовые или бледно-розовые. Стебель и цветоносы покрыты простыми прижатыми

волосками. Имеет два цветка в соцветии. В Зауралье – редкий луговой вид у западного предела распространения.

G. bifolium Patrin (Г. двулистная). Вид очень близок к предыдущему, но в отличие от него имеет белые, с розоватыми жилками лепестки. Листовая пластинка рассечена на 4/5 – 5/6 длины. Сибирский вид, обычный в местообитаниях долины р.Ишим и восточнее. Западнее редок; в Южном Зауралье известен только из двух местонахождений в Тобол-Ишимском водоразделе: в частности, отмечен на полуостровах озера Медвежье [Науменко, 2008].

Подсекция *Recurvata* Knuth

G. pratense L. (Г. луговая). Стебли и черешки листьев густо покрыты длинными оттопыренными волосками от 0,5 мм до 1 мм. На цветоносах обильное железистое опушение. Чашелистики с железистым опушением с примесью простых волосков. В Зауралье вид встречается повсеместно, обычен на лугах и лесных опушках.

G. collinum Steph. ex Willd. (Г. холмовая). Стебель опушен прижатыми вниз направленными волосками. Цветоносы покрыты простыми волосками. Венчик с розоватым оттенком. Столбик под рыльцем голый на 1,5 – 2,5 мм. В Зауралье редок и не встречается вне речных долин. Вид степной зоны на северном пределе равнинной части ареала, проходящем вдоль 54°30 – 55°с.ш. Северные точки ареала – вдоль р.Уй в Челябинской и Курганской областях (до села Усть-Уйское); в долине Тобола отмечен близ сел Звериноголовское и Верхняя Алабуга.

G. palustre L. (Г. болотная). Имеет компактные цветоносы и соцветия не образует, цветоносы расставлены вдоль стебля. Цветоножки длинные они покрыты некурчавыми прижатыми волосками длиной 0,5 мм. Венчик крупный, яркий, пурпурово-сиреневый. Опушечный европейский вид, на восточном пределе ареала отмечен у с. Обутки Макушинского района: единственная находка на территории Сибири подтверждается образцом в Гербарии Томского университета (ТК).

Секция *Sanguinea* Knuth

G. sanguineum L. (Г. кровянокрасная) Цветок крупный, на цветоносе один. Цветки яркие, крупные, красно-сиреневого цвета. Характерная особенность вида – осеннее покраснение листьев. Очень редкий европейский вид, на восточном пределе ареала отмечен в Курганской области из одной точки у села Шаламово [4].

Секция *Columbina* Koch

G. sibiricum L. (Г. сибирская). Имеет стебли, покрытые простыми волосками. Лепестки розовато-белые, до 5-6 мм длиной. Цветоносы одноцветковые, но иногда двуцветковые. Вид

в Южном Зауралье обычен, приурочен к нарушенным местообитаниям вдоль грунтовых дорог, лугам и лесным опушкам; часто встречается как сорное растение.

Подрод *Robertium* (Ricard) Rouy et Fouc.

Секция *Batrachioides* Koch

G. divaricatum Ehrh. (Г. растопыренная). Некрупное монокарпическое растение с округлыми, сильно рассеченными листьями. Стебли покрыты простыми и железистыми волосками. Лепестки с глубокой выемкой. Лепестки 4,5 мм длиной. Вид, для рассматриваемой флоры приводимый по одному гербарному экземпляру в коллекции Курганского государственного университета (не исключено ошибочное указание места сбора на этикетке). По всей видимости, процитированные нами ранее [4] указания для Курганской области схожего европейско-средиземноморского вида *G. pusillum* L. основаны на ошибочном определении этого же образца.

Выводы

1. Составлен и проанализирован конспект гераней (*Geranium* L., Geraniaceae Juss.) флоры равнинного Южного Зауралья, включивший 9 видов этого рода.

2. При проведении морфометрического анализа гераней Южного Зауралья с использованием метода многомерного шкалирования выявлены морфологические признаки, имеющие наиболее важное значение для диагностики изученных видов: ширина и размер листовой пластинки, характер опушения листьев, степень рассечённости листовой пластинки, количество цветков на цветоносе, цвет и размер околоцветника.

3. По характеру распространения на территории Южного Зауралья из видов семейства Geraniaceae один степной вид (*G. collinum*) имеет северную границу ареала. Границы ареалов трех европейских видов рода лежат за пределами Южного Зауралья (*G. sanguineum*, *G. divaricatum*, *G. palustre*): их местонахождения в Западной Сибири находятся в отрыве от линии сплошного распространения. Один вид (*G. albiflorum*) находится на восточном пределе ареала. Пять видов гераней распространены в соответствующих местообитаниях Южного Зауралья повсеместно и не имеют на рассматриваемой территории границ ареала – *G. sibiricum*, *G. sylvaticum*, *G. pratense*, *G. pseudosibiricum*, *G. bifolium*.

4. По характеру края ареала в Южном Зауралье условно можно выделить четыре группы видов гераней: повсеместно распространенные виды; степные виды на северном пределе распространения; редкие в Зауралье восточноевропейские виды, граница сплошного распространения которых лежит за пределами рассматриваемой территории; и вид на восточном пределе ареала. Характер распространения гераней в равнинном Зауралье отражает зональное и секторное членение Зауральской лесостепи [4].

Список литературы

1. Ефимов В.М., Ковалева В.Ю. Многомерный анализ биологических данных: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005.
2. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование. – М.: Финансы и статистика, 1988.
3. Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 640 с.
4. Науменко Н.И. Флора и растительность Южного Зауралья. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2008. – 512 с.
5. Новосёлова М.С. Обзор семейства Geraniaceae Центральной Азии // Бот. журн. – 1996. – Т. 81, № 10. – С. 83-91.
6. Феоктистов Д.С. Виды семейства Geraniaceae Juss. флоры Южного Зауралья // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов Курганского государственного университета, 2011. – С. 90-92.
7. Цвелев Н.Н. Сем. 112. Geraniaceae Juss. – Гераниевые // Флора Восточной Европы. – СПб.: Мир и семья, 1996. – Т.9. – С. 370-388.
8. Aedo C., Munoz Garmendia F. Some notes on the nomenclature of *Geranium* (Geraniaceae) // Taxon. – 1996, Vol. 45. – P. 104-106.
9. Aedo C. Taxonomic revision of *Geranium* sect. *Trygonium* (Geraniaceae) // Бот. журн. – 2003. – Т. 88, № 4. – С. 124-131.
10. Yeo P.F. Fruit-discharge-type in *Geranium* (Geraniaceae): its use in classification and its evolutionary implications // Bot. J. Linn. Soc. – 1984. – Vol. 89. – P. 1-36.

Рецензенты:

Баранова О.Г., д.б.н., профессор, зав. кафедрой ботаники и экологии растений ФГОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск;

Ильминских Н.Г., д.б.н., профессор, профессор кафедры общей биологии ФГБОУ ВПО "Государственный аграрный университет Северного Зауралья", заведующий лабораторией УРАН "Тобольская комплексная биологическая станция УРО РАН", г. Тобольск.