

# ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

# PHARMACEUTICAL SCIENCES

УДК 615.322

**СТЕРОИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ:  
ФИТОЭКДИЗОНЫ (ФИТОЭКДИСТЕРОИДЫ). НАУКОМЕТРИЧЕСКОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ ДАННЫХ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

**STEROID CONNECTIONS OF THE PHYTOGENESIS: PHYTOECDYSONES  
(PHYTOECDYSTEROIDS). SCIENTOMETRIC RESEARCH OF DATA  
OF SCIENTIFIC AND PRACTICAL LITERATURE**

**А.Е. Суханов, О.В. Буюклинская, Р.Г. Коптяева**  
**A.E. Sukhanov, O.V. Buyuklinskaya, R.G. Koptyaeva**

Северный государственный медицинский университет,  
Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

Northern State Medical University,  
Russia, 163000, Arkhangelsk, Troitsky Ave., 51

E-mail: docpharmanton@hotmail.com

## Аннотация

Стероидные соединения растительного происхождения (фитоэкдизоны или фитоэкдистероиды) важны в клинической медицине, так как они оказывают противогрибковый, противоопухолевый, инсектицидный и, вызывающий линьку, биологические эффекты. Однако стероидные соединения растительного происхождения, в частности, фитоэкдизоны (фитоэкдистероиды), недостаточно изучены с позиции идентификации в тканях растительных организмов и методов их физико-химического анализа. В статье приводится наукометрический анализ научно-исследовательских сведений (реферативных документов), содержащих аналитический массив научных публикаций касательно изолирования, выделения, очистки, идентификации и количественного определения фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов) в тканях высших сосудистых растений в реферативной библиографической базе данных «SciVerse Scopus» (издательство «Elsevier»), с использованием критериев «ключевое слово» и «ключевое словосочетание».

Наиболее популярными методами анализа структуры фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов) являются высокоэффективные жидкостные хроматографии с использованием государственных стандартных образцов веществ. Вклад данных методов в химический анализ данного класса соединений составляет 42,88% от всех опубликованных методов анализа на данный класс соединений согласно данным «SciVerse Scopus». Остальные физико-химические методы исследований представлены в реферативной библиографической базе данных в одинаковом соотношении: высокоэффективная жидкостная хроматография в тандеме с масс-спектрометрическим детектированием; по типу ионизации исследуемых молекул – диодно-матричное детектирование, электрораспыление, термораспыление; магнитно-резонансная спектроскопия по изотопу углерода-13, тонкослойная хроматография на этапе скрининга выбора для анализа растительных организмов.

При анализе всего массива реферативных документов реферативной библиографической базы данных «SciVerse Scopus» на предмет использования современных физико-химических методов анализа растительных организмов на фитоэкдизоны (фитоэкдистероиды) отсутствуют упоминания о следующих методах анализа: высокоэффективная тонкослойная хроматография с денситометрическим количественным определением, радиоиммунный анализ, турбулентная хроматография с высокоэф-



фективной жидкостной хроматографией и масс-спектрометрией, масс-спектрометрия разных типов анализаторов: квадрупольный, времяпролётный; высокоэффективная протиточная хроматография, инфракрасная спектроскопия Фурье, гель-хроматография, спектрофотометрия, сверхкритическая флюидная хроматография, высокоэффективные жидкостные хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией по типу орбитальной ионной ловушки, химической ионизации при атмосферном давлении, фотоионизации при атмосферном давлении, бомбардировка быстрыми атомами, которые могут быть использованы в методах аналитической и препаративной хроматографии.

### Abstract

Steroid compounds of plant origin (phytoecdysones or phytoecdysteroids) have been important in clinical medicine, have antifungal, antitumor activity, insecticidal and calling moult biological effects. However, the steroidal compound of plant origin, in particular, phytoecdysones (phytoecdysteroids), poorly studied with position identification in the tissues of plant organisms and methods physico-chemical analysis. The article provides a scientometric analysis of research information (reference documents) that contains the analytical array of scientific publications regarding the isolation, separation, purification, identification and quantification phytoecdysones (phytoecdysteroids) in the tissues of vascular plants in the patent bibliographic database "SciVerse Scopus" (publishing house "Elsevier"), using the criteria "keyword" and "keyword phrase".

The most popular methods of analysis of the structure phytoecdysones (phytoecdysteroids) are high performance liquid chromatography with using of state standard samples of substances. The contribution of these methods in the chemical analysis of this class of compounds is 42.88% of all published methods of analysis for the class of compounds according to the "SciVerse Scopus". Other physico-chemical methods of research represented in the abstract bibliographic database in the same ratio: high performance liquid chromatography in tandem with mass spectrometry detection; the type of ionization of the investigated molecules – diode-array detection, electrospray, termolabilnye; magnetic resonance spectroscopy of the isotope carbon-13, thin-layer chromatography at the stage of screening of choice for analysis of plant organisms.

When analyzing the entire array of refereed papers abstracts bibliographic database "SciVerse Scopus" on the subject of use of modern physico-chemical methods of analysis of plant organisms on phytoecdysones (phytoecdysteroids) no mention of the following methods of analysis: high performance thin layer chromatography with densitometric quantification, radioimmunoassay analysis, turbulent chromatography with high performance liquid chromatography and mass spectrometry, mass spectrometry of different types of analyzers: quadrupole, time-of-flight; high-performance countercurrent chromatography, infrared spectroscopy Fourier, gel chromatography, spectrophotometry, supercritical fluid chromatography, high performance liquid chromatography in combination with mass spectrometry according to the type of orbital ion trap chemical ionization, atmospheric pressure photoionization at atmospheric pressure, the bombardment of fast atoms, which can be used in the methods of analytical and preparative chromatography.

**Ключевые слова:** наукометрический анализ, фитоэкдизоны (фитоэкдистероиды).

**Keywords:** scientometric analysis, phytoecdysones (phytoecdysteroids).

---

### Введение

Стероидные соединения занимают особое положение в медицинской и фармацевтической практике. К данной группе растительных биологически активных индивидуальных соединений (РБАИС) относятся различные классы веществ, в том числе фитоэкдизоны или фитоэкдистероиды (ФЭ), сапонины: тритерпеновые сапонины и стероидные сапонины; фитостеролы, стероидные алкалоиды или гликоалкалоиды, сердечные (кардиотонические) гликозиды, и стероидные соединения неустановленной структуры.

В настоящее время накоплен огромный материал касательно РБАИС, в том числе применяемых в фармакотерапевтической практике, нами проведено наукометрическое исследование имеющихся научно-исследовательских сведений в научно-практической литературе. Для проведения наукометрических исследований выбрана реферативная библиографическая база данных (РББД) по поисковым запросам, содержащая реферативный и аналитический массив научных публикаций (рефераты публикаций), индексированную библиографическую информацию и цитирования: «SciVerse Scopus» (издательство «Else-

vier)), с использованием критериев «ключевое слово» и «ключевое словосочетание», выполненные латинской раскладкой клавиатуры.

### Цель

Цель исследования – провести наукометрический анализ документов реферативной библиографической базы данных по поисковым запросам, содержащих реферативный и аналитический массив научных публикаций (рефераты публикаций), индексированных в библиографической информационной системе цитирования «SciVerse Scopus» (издательство «Elsevier») по публикационной активности авторов, изучающих химическую структуру и содержание в растительных организмах фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов) за период с 1969 по 2015 гг.

Задачи исследования:

1. Изучить динамику распределения реферативных документов, классифицируемых по ключевым словам «phytoecdysone» и «phytoecdysteroid» за указанный временной период.
2. Изучить структуру распределения реферативных документов по основным научным направлениям при исследовании фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов) по ключевым словам и словосочетаниям в случае двойного поиска за указанный временной период.
3. Изучить структуру распределения наиболее цитируемых источников по реферативным документам по основным научным направлениям при исследовании фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов) по ключевым словам и словосочетаниям за указанный временной период.
4. Изучить структуру распределения наиболее цитируемых источников по реферативным документам по химической структуре фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов).
5. Изучить структуру распределения реферативных документов по семействам растительных организмов, содержащих фитоэкдизоны (фитоэкдистероиды).
6. Изучить структуру распределения реферативных документов по методам и методикам анализа фитоэкдизонов (фитоэкдистероидов).

### Материалы и методы исследования

Массив научной информации касательно различных классов РБАИС в различных РББД неодинаков. Принимая во внимание все классы РБАИС стероидной структуры (6 классов) в поисковых запросах РББД использовались следующие ключевые слова: «phytoecdysone» и «phytoecdysteroid». Индексация результатов одинарного и двойного поисков проводилась по нескольким типам поисковых запросов (поиск документов), а именно: article title (заголовок статьи), abstract (резюме) и keywords (ключевые слова). Анализ поисковых результатов проводился по следующим параметрам: year (год), author (автор), document type (тип документа) и subject area (предметная область).

При анализе РББД зависимостей ключевых слов РБАИС стероидной структуры от характера распределения реферативных документов по ключевым словам и словосочетаниям, характеризующим методы и методики физического, химического, физико-химического, фармацевтического, фитохимического, биологического анализов и ключевых слов, характеризующих понятийный аппарат метода, методики, агрегатного состояния, растворимости и других показателей и параметров, использовали двойной поиск и индексацию результатов поиска. Для цели двойного поиска по второму ключевому слову и словосочетанию использовали следующие выражения латинской раскладкой клавиатуры: характер распределения реферативных документов по ключевым словам и словосочетаниям был представлен 11 единицами совместно со словом «phytoecdysone», а именно: «analysis» («анализ»), «biosynthesis» («биосинтез»), «cell culture» («клеточная культура»),



«chromatography» («хроматография»), «chemical structure» («химическая структура») «derivatives» («производные»), «genetics» («генетика»), «hydrolysis» («гидролиз»), «identification» («идентификация»), «isolation and purification» («изолирование и очистка»), «mass-spectrometry» («масс-спектрометрия»), «metabolism» («метаболизм»). Совместно со словом «phytoecdysteroid» 14 слов и словосочетаний: «analysis» («анализ»), «biological activity» («биологическая активность»), «cell culture» («клеточная культура»), «chemical structure» («химическая структура»), «chromatography» («хроматография»), «derivatives» («производные»), «genetics» («генетика»), «glycoside» («гликозид»), «hydrolysis» («гидролиз»), «identification» («идентификация»), «isolation and purification» («изолирование и очистка»), «mass-spectrometry» («масс-спектрометрия»), «metabolism» («метаболизм»), «plants» («растения»), «precipitation» («осаждение»).

Следует отметить, что при проведении наукометрических исследований подобного типа величина относительной ошибки составляет 10–15% от полученной величины [Оленников, 2012].

### Результаты и их обсуждение

Согласно данным РБД «SciVerse Scopus», общий объем реферативных документов, классифицируемых по ключевому слову «phytoecdyson» за период с 1969 по 2015 гг., достиг 53 единицы реферирования; по ключевому слову «phytoecdysteroid» с 1981 по 2015 гг. – 316. Таким образом, при дальнейших статистических анализах по данному классу веществ будет использоваться итоговое значение – 369. Распределение количества реферативных документов за данный период времени, как интегральный показатель научного интереса исследователей в динамике, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Динамика распределения реферативных документов, классифицируемых по ключевым словам «phytoecdyson» и «phytoecdysteroid» за период с 1969 по 2015 гг.

Fig. 1. Dynamics of distribution of the abstract documents classified under the key phrases "phytoecdyson" and "phytoecdysteroid" from 1969 for 2015

В динамике изучаемого периода (с 1969 по 2015 гг.) интерес к изучению ФЭ вплоть до периода с 1991 по 1995 гг. был недостаточным: вклад по научно-практическим статьям за данный временной период составляет 17.07%. В дальнейшем резко увеличилось число научно-практических публикаций по исследованию ФЭ. Так, в 2000-х годах общее число



работ по ФЭ составило 192 (52.03%). Однако данный числовой показатель незначителен по сравнению с числом публикаций по изучению других БАИС растительного и грибного происхождения в целом.

Первое упоминание в научно-практической литературе, касающееся исследования структуры ФЭ, относятся к 1969 г. – статья Imai S. et al. по изучению структуры аюгастерона С – фитостероидона с гидроксильной группой в 11 положении [Imai et al., 1969], статья Imai S. с соавторами по изучению структуры аюгастерона В [Imai et al., 1969] и статья Galbraith M.N. с соавторами по изучению химической структуры подегдизона В [Galbraith et al., 1969].

За период с 1969 по 2015 гг. наибольшую публикационную активность по всем реферативным документам по изучению ФЭ имеют следующие авторы: Dinan L. – 36 реферативных документов, Lafont R. – 23, Saatov Z. – 19 и др.

Основными источниками (научно-практические журналы) по статьям касательно изучения структуры и свойств ФЭ являются следующие: «Chemistry of natural compounds» («Химия природных соединений») – 64 (17.34%) реферативных документа, «Phytochemistry» («Фитохимия») – 30 (8.13%), «Biochemical systematics and evolution» («Биохимическая систематика и эволюция») – 15 (4.07%), «Journal of chemical ecology» («Журнал химической экологии») – 8 (2.17%) и др.

Основные исследовательские направления и предпочтения по изучению ФЭ свидетельствуют о том, что наибольшее число реферативных документов отмечены в предметных областях: «biochemistry, genetics and molecular biology» («биохимия, генетика и молекулярная биология») – 178 (48.24%) документов, «chemistry» («химия») – 174 (47.15%) документов, «pharmacology, toxicology and pharmacy» («фармакология, токсикология и фармация») – 103 (27.91%) документов, «agricultural and biological sciences» («сельскохозяйственные и биологические науки») – 157 (42.55%) документов, «medicine» («медицина») – 49 (13.28%) документов, «chemical engineering» («химический инжиниринг») – 6 (1.63%) документа и др. Необходимо отметить, что исследовательские работы зачастую носят смежный характер и проводятся на стыке наук.

Характер распределения реферативных документов по ключевым словам и словосочетаниям в случае двойного поиска документов представлен в табл. 1.

Таблица 1  
Tabl. 1

Структура распределения реферативных документов по основным научным направлениям при исследовании фитостероидов (фитостероидов) по ключевым словам и словосочетаниям (1969–2015 гг.)\* в случае двойного поиска

Structure of distribution of abstract documents in the main scientific directions at a research of phytoecdysone (phytoecdysteroid) on keywords and phrases (1969–2015)\* in case of double searching

Ключевые слова и словосочетания	Доля, абс. (%)	Ключевые слова и словосочетания	Доля, абс. (%)
Plants	224 (30.19 %)	Identification	24 (3.23 %)
Analysis	95 (12.80 %)	Hydrolysis	21 (2.83 %)
Chromatography	74 (9.97 %)	Glycoside	14 (1.89 %)
Derivatives	64 (8.63 %)	Genetics	7 (0.95 %)
Chemical structure	55 (7.42 %)	Sapogenin analysis	7 (0.95 %)
Metabolism	49 (6.60 %)	Biosynthesis	6 (0.81 %)
Mass spectrometry	36 (4.85 %)	Cell culture	3 (0.40 %)
Isolation and purification	31 (4.18 %)	Aglycone	1 (0.13 %)
Biological activity	30 (4.04 %)	Precipitation	1 (0.13 %)

Примечание: \*данные представлены в ранжированном виде по степени убывания абсолютных и относительных значений.

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод о том, что в статьях на основании реферативных документов РББД «SciVerse Scopus» за указанный временной период основное внимание исследователей ФЭ привлекали следующие направления: объектом анализа на предмет исследования ФЭ было растительное сырьё (в том числе не фармакопейное) – 30.19%. Исследовались как нативные соединения, так и их дериваты (8.63%). Изучалась химическая структура (идентификация) методами хроматографии с применением масс-спектрометрического детектора – 4.85%. Наименьшее количество научных направлений изучения ФЭ принадлежат изучению вопросов по биосинтезу данной группы соединений. Примечательно, что не привлекли внимание исследователей вопросы по изучению изомеров, энантиомеров, физических свойств, биологической активности ФЭ, микробиологических аспектов поиска, синтеза и использования ФЭ в медицинской практике.

Анализ исследовательских предпочтений в сфере химии ФЭ при выборе объектов исследования показывает, что изучаемыми являются только растительные организмы.

Соотношение количества научных статей, посвящённых изучению различных органов растительных организмов по исследованию ФЭ, представлен на рис. 2.

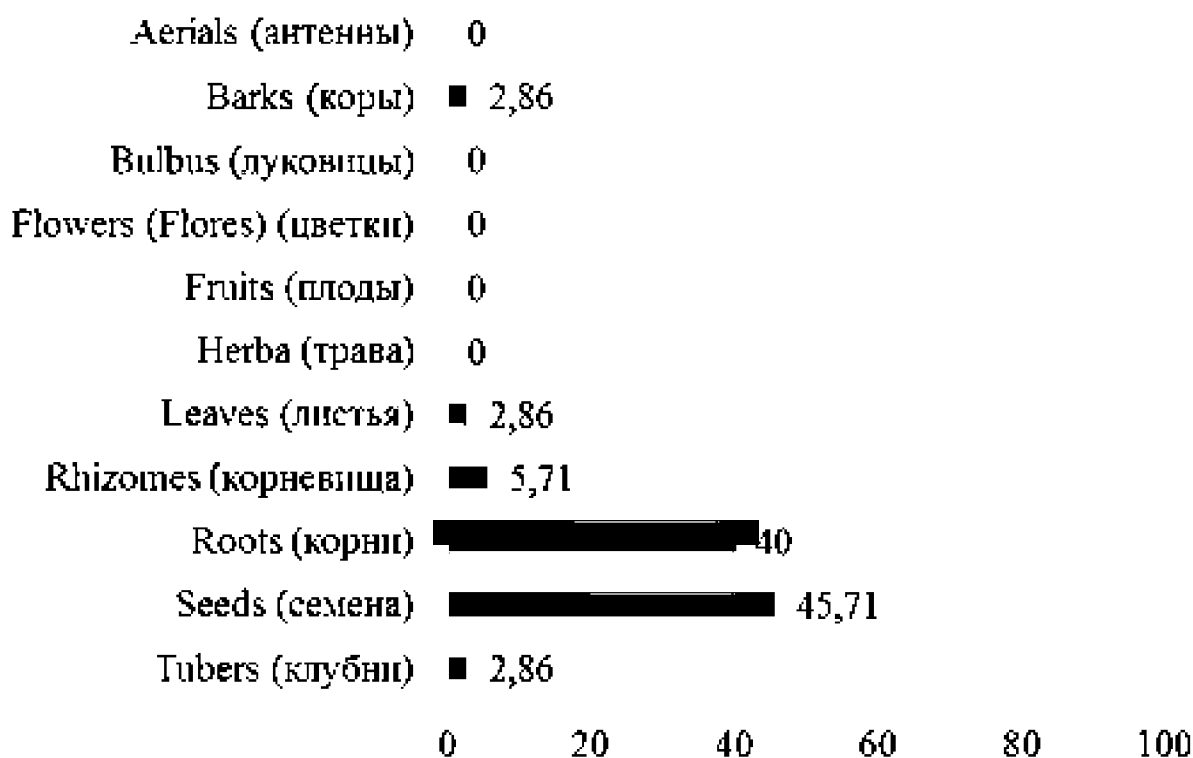


Рис. 2. Соотношение количества научно-практических статей, посвящённых изучению различных органов растительных организмов на предмет исследования фитоэктизонов (фитоэктистероидов), %

Fig. 2. A ratio of number of scientific and practical articles, devoted to studying of various bodies of vegetable organisms regarding a research of phytoecdysones (phytoecdysteroids), %

Анализируя данные рис. 2, можно сделать выводы о том, что самой исследуемой морфологической группой являются надземные органы растительных организмов – 51,43%. Следует отметить, что не изучались на предмет наличия ФЭ антенны, луковицы, цветки, плоды, травы, либо в этих морфологических образованиях растений данный класс соединений не обнаружен.

К наиболее цитируемым источникам по изучению ФЭ можно отнести следующие (таб. 2).



Таблица 2  
Tabl. 2

Структура распределения наиболее цитируемых источников по реферативным документам по основным научным направлениям при исследовании фитоэктодиенов (фитоэктодиостероидов) по ключевым словам и словосочетаниям (1969–2015 гг.)\*  
Structure of distribution of the most quoted sources according to abstract documents in the main scientific directions at a research phytoecdysones (phytoecdysteroids) on keywords and phrases (1969–2015)

Научная статья	Количество цитат (цитируемость), абс.
Dinan L. Phytoecdysteroids: biological aspects [Dinan L., 2001]	174
Camps F., Coll J. Insect allelochemicals from <i>Ajuga</i> plants [Camps F., Coll J., 1993]	82
Karuppusamy S. A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants by in vitro tissue, organ and cell cultures [Karuppusamy S., 2009]	81
Adler J.H., Grebenok R.J. Biosynthesis and distribution of insect-molting hormones in plants-A review [Adler J.H., Grebenok R.J., 1995]	57
Soriano I.R. et al. Phytoecdysteroids: a novel defense against plant-parasitic nematodes [Soriano I.R. et al., 2004]	54
Schmelz E.A. et al. Insect-induced synthesis of phytoecdysteroids in spinach, <i>Spinacia oleracea</i> [Schmelz E.A. et al., 1999]	44
Bandara B.M.R. et al. Ecdysterone from stem of <i>Diploclisia glaucescens</i> [Bandara B.M.R. et al., 1989]	38
Harmatha J., Dinan L. Biological activity of natural and synthetic ecdysteroids in the BII bioassay [Harmatha J., Dinan L., 1999]	34
Odinokov V.N. et al. Phytoecdysteroids from the juice of <i>Serratula coronata</i> L. (Asteraceae) [Odinokov V.N. et al., 2002]	34
Schmelz E.A. et al. Interactions between <i>Spinacia oleracea</i> and <i>Bradysia impatiens</i> : a role for phytoecdysteroids [Schmelz E.A. et al., 2002]	32
Lafont R., Morgan E.D., Wilson I.D. Chromatographic procedures for phytoecdysteroids [Lafont R., Morgan E.D., Wilson I.D., 1994]	30
Schmelz E.A. et al. Damage-induced accumulation of phytoecdysteroids in spinach: a rapid root response involving the octadecanoic acid pathway [Schmelz E.A. et al., 1998]	30

Примечание: \*данные представлены в ранжированном виде по степени убывания абсолютных значений.

Анализируя представленные данные в табл. 2, можно сделать вывод о том, что наибольшая цитируемость научных статей по ФЭ посвящена изучению биологических аспектов ФЭ, а именно: химической структуры, биогенеза в растительных тканях через ключевой метаболит (мевалоновая кислота) посредством замещения протонами атомов углерода в 27, 28 и 29 положениях углеродного скелета стероидного ядра. Рассмотрен ряд вопросов касательно токсикологических свойств, а также терапевтического применения данных веществ при дерматологических заболеваниях, в косметологии. Вторая наиболее цитируемая статья посвящена аллелохимии ФЭ растения живучки и влиянию ФЭ на насекомых с целью выявления инсектицидной активности. Неизменен интерес к изучению вопросов по образованию вторичных метаболитов – ФЭ в тканях высших растений, в органах растений и клеточных растительных культурах. Авторами-исследователями также изучались вопросы качественной идентификации и количественного определения разных групп ФЭ физико-химическими методами в экстрактах из растительных организмов.



Согласно научным литературным данным, ФЭ классифицируются на множество классов веществ относительно отдельных представителей растений и растительных семейств, а именно:

1. ФЭ семейства Амарантовые (Amaranthaceae).
2. ФЭ семейства Гвоздичные (Caryophyllaceae).
3. ФЭ семейства Деннштедтиевые (Dennstaedtiaceae).
4. ФЭ семейства Дербенниковые (Blechnaceae).
5. ФЭ семейства Коммелиновые (Commelinaceae).
6. ФЭ семейства Кочедыжниковые (Athyriaceae).
7. ФЭ семейства Луносемянниковые (Menispermaceae).
8. ФЭ семейства Мальвовые (Malvaceae).
9. ФЭ семейства Мелантьевые (Melanthiaceae).
10. ФЭ семейства Сложноцветные (Compositae).
11. ФЭ семейства Спаржевые (Asparagaceae).
12. ФЭ семейства Тисовые (Taxaceae).
13. ФЭ семейства Яснотковые (Lamiaceae) и др.

В нашем случае, по данным научно-практической литературы, ФЭ содержатся практически в нескольких сотнях семейств растительных организмов. Единой химической классификации ФЭ растительных организмов по настоящий момент не разработано.

К наиболее цитируемым научно-практическим работам исследователей по изучению отдельных классов ФЭ можно отнести следующие (табл. 3).

Таблица 3  
Tabl. 3

Структура распределения наиболее цитируемых источников по реферативным документам по химической структуре фитоэктизонов (фитоэктистероидов) (1969–2015 гг.)\*  
Structure of distribution of the most quoted sources according to abstract documents on chemical structure of phytoecdysones (phytoecdysteroids) (1969–2015)\*

Научная статья по классам фитоэктизонов (фитоэктистероидов)	Количество цитат (цитируемость), абс.
<b>Фитоэктистероиды семейства амарантовые (Amaranthaceae)</b>	
Schmelz E.A. et al. Insect-induced synthesis of phytoecdysteroids in spinach, <i>Spinacia oleracea</i>	44
Schmelz E.A. et al. Interactions between <i>Spinacia oleracea</i> and <i>Bradysia impatiens</i> : a role for phytoecdysteroids	32
Dinan L., Whiting P., Scott A.J. Taxonomic distribution of phytoecdysteroids in seeds of members of the Chenopodiaceae [Dinan L., Whiting P., Scott A.J., 1998]	27
Grebenok R.J., Adler J.H. Ecdysteroid biosynthesis during the ontogeny of spinach leaves [Grebenok R.J., Adler J.H., 1993]	26
Kumpun S. et al. Ecdysteroids from <i>Chenopodium quinoa</i> Willd., an ancient Andean crop of high nutritional value [Kumpun S. et al., 2011]	20
<b>Фитоэктистероиды семейства гвоздичные (Caryophyllaceae)</b>	
Bathori M. et al. Complex phytoecdysteroid cocktail of <i>Silene otites</i> (Caryophyllaceae) [Bathori M. et al., 1999]	23
Zibareva L. et al. Distribution of phytoecdysteroids in the Caryophyllaceae [Zibareva L. et al., 2003]	23
Meng Y. et al. Identification and quantitative analysis of the phytoecdysteroids in <i>Silene</i> species (Caryophyllaceae) by high-performance liquid chromatography: novel ecdysteroids from <i>S. pseudotites</i> [Meng Y. et al., 2001]	22
<b>Фитоэктистероиды семейства луносемянниковые (Menispermaceae)</b>	
Bandara B.M.R. et al. Ecdysterone from stem of <i>Diploclisia glaucescens</i>	38





Окончание табл. 3

Shi Q. et al. Simultaneous determination of eight components in radix <i>Tinospora</i> by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detector and electrospray tandem mass spectrometry [Shi Q. et al., 2007]	14
Фитоэктистероиды семейства мальвовые (Malvaceae)	
Tavares M.C.H., Yariwake Vilegas J.H., Lanças F.M. Phytoecdysteroid profiles in seeds of <i>Sida</i> spp. (Malvaceae) [Tavares M.C.H., Yariwake Vilegas J.H., Lanças F.M., 2001]	22
Фитоэктистероиды семейства сложноцветные (Compositae)	
Odinokov V.N. et al. Phytoecdysteroids from the juice of <i>Serratula coronata</i> L. (Asteraceae)	34
Syrov V.N., Kurmukov A.G. On anabolic activity of phytoecdizone ecdisterone isolated from <i>Rhaponticum carthamoides</i> (Willd.) Iljin (Russian) [Syrov V.N., Kurmukov A.G., 1976]	29
Vokáč K., Buděšínský M., Harmatha J. Minor ecdysteroid components of <i>Leuzea carthamoides</i> [Vokáč K., Buděšínský M., Harmatha J., 2002]	18
Buděšínský M. et al. Additional minor ecdysteroid components of <i>Leuzea carthamoides</i> [Buděšínský M. et al., 2008]	13
Фитоэктистероиды семейства спаржевые (Asparagaceae)	
Wu J.-J. et al. Simultaneous determination of three phytoecdysteroids in the roots of four medicinal plants from the genus <i>Asparagus</i> by HPLC [Wu J.-J. et al., 2009]	2
Фитоэктистероиды семейства тисовые (Taxaceae)	
Nakano K. et al. A phytoecdysteroid, taxisterone, from <i>Taxus cuspidate</i> [Nakano K. et al., 1982]	17
Фитоэктистероиды семейства яснотковые (Lamiaceae)	
Camps F., Coll J. Insect allelochemicals from <i>Ajuga</i> plants	82
Tomas J. et al. Composition and location of phytoecdysteroids in <i>Ajuga reptans</i> in vivo and in vitro cultures [Tomas J. et al., 1992]	29
Imai S. et al. Structure of ajugasterone C, a phytoecdysone with an 11-hydroxy-group	25
Tomas J. et al. Phytoecdysteroid production by <i>Ajuga reptans</i> tissue cultures [Tomas J. et al., 1993]	25
Cheng D.M. et al. In vitro production of metabolism-enhancing phytoecdysteroids from <i>Ajuga turkestanica</i> [Cheng D.M. et al., 2008]	23
Nagakari M. et al. Incorporation of acetate and cholesterol into 20-hydroxyecdysone by hairy root clone of <i>Ajuga reptans</i> var. <i>Atropurpurea</i> [Nagakari M. et al., 1994]	23
Calcagno M.-P. et al. New phytoecdysteroids from roots of <i>Ajuga reptans</i> varieties [Calcagno M.-P. et al., 1996]	20

Примечание: \*данные представлены в ранжированном виде по степени убывания абсолютных значений.

Анализируя данные табл. 3, можно сделать вывод о том, что наиболее изучены химические структуры ФЭ представителей семейства амарантовые, гвоздичные, сложноцветные, яснотковые, как по количеству представленных научно-практических работ, так и уровню цитируемости. Следует отметить, что ФЭ представителей различных семейств имеют аналогичную (одинаковую) химическую структуру и могут быть отклассифицированы лишь по происхождению.

Наибольшую цитируемость по семейству яснотковые имеет статья Camps F. и Coll J. по изучению аллелохимических свойств различных видов живучки по влиянию на биохимию насекомых. По семейству амарантовые наибольший индекс цитируемости имеет



статья Schmelz E.A. и соавторов по изучению методов синтеза ФЭ из шпината огородного и их влияние на биохимию насекомых.

Наименьшее количество представленных научно-практических статей – по семейству тисовые. Единственный документ в массиве РББД «SciVerse Scopus» по выделению и изучению нового ФЭ под названием «таксистерон» из сырья производящего растения *Taxus cuspidate* принадлежит Nakano K. и соавторам.

При изучении реферативных документов на предмет отнесения растительных организмов, содержащих ФЭ, по группам семейств, можно выделить наиболее изученные семейства растений, содержащие ФЭ (табл. 4).

Таблица 4  
Tabl. 4

Структура распределения реферативных документов по семействам растительных организмов, содержащих фитозекдизоны (фитозекдистероиды) (1969–2015 гг.)\*  
Structure of distribution of abstract documents on families of the plant organisms containing phytoecdysones (phytoecdysteroids) (1969–2015)\*

Семейство		Количество публикаций, абс. и %
Русское название	Латинское название	
Яснотковые (Губоцветные)	Lamiaceae (Labiatae)	35 (21.74%)
Амарантовые (Щирицевые)	Amaranthaceae	29 (18.02%)
Сложноцветные (Астровые)	Compositae (Asteraceae)	25 (15.53%)
Гвоздичные	Caryophyllaceae	23 (14.29%)
Многоножковые	Polypodiaceae	8 (4.98%)
Коммелиновые	Commelinaceae	5 (3.11%)
Мелантьевые	Melanthiaceae	5 (3.11%)
Лимнантовые	Limnanthaceae	4 (2.48%)
Мениспермовые (Луносемянниковые)	Menispermaceae	3 (1.86%)
Лютиковые	Ranunculaceae	3 (1.86%)
Аизовые	Aizoaceae	2 (1.24%)
Деннштедтиевые	Dennstaedtiaceae	2 (1.24%)
Дербянковые	Blechnaceae	2 (1.24%)
Паслёновые	Solanaceae	2 (1.24%)
Подокарповые (Ногоплодниковые)	Podocarpaceae	2 (1.24%)
Тисовые	Taxaceae	2 (1.24%)
Амариллисовые	Amaryllidaceae	1 (0.62%)
Блендфордиевые	Blandfordiaceae	1 (0.62%)
Вьюнковые	Convolvulaceae	1 (0.62%)
Мальвовые	Malvaceae	1 (0.62%)
Мятликовые (Злаки)	Poaceae (Gramineae)	1 (0.62%)
Кочедыжниковые	Athyriaceae	1 (0.62%)
Свинчатковые (Плюмбаговые)	Plumbaginaceae	1 (0.62%)
Спаржевые	Asparagaceae	1 (0.62%)
Схизейные	Schizaeaceae	1 (0.62%)

Примечание:\*данные представлены в ранжированном виде по степени убывания абсолютных и относительных значений.

К отдельным семействам исследуемых растительных организмов отмечается особый повышенный интерес, что связано с наличием у некоторых ФЭ противогрибковых, противоопухолевых, инсектицидных и вызывающих линьку биологических эффектов.



Анализируя данные табл. 4, можно сделать вывод о том, что подавляющее большинство реферативных документов касательно различных семейств растительных организмов, содержащих ФЭ, принадлежит семействам-лидерам: яснотковые (губоцветные), амарантовые (щирицевые) и сложноцветные (астровые). Вклад указанных семейств растительных организмов от общего количества реферативных документов РББД «SciVerse Scopus», посвящённых различным видам анализа на предмет наличия ФЭ и их производных, составляет 55.29%.

Совершенствование методологии, обновление уже существующих методик анализа отражается на качестве исследовательских работ, отражённых в научно-практических статьях в РББД. Принимая во внимание особенности опубликованных работ при описании структуры ФЭ и химии указанного класса соединений, нами выделены основные методы и методики анализа данного класса растительных соединений (табл. 5). Химическому анализу структуры и содержания в растительных тканях ФЭ напрямую посвящены 14 научно-практические статьи, что составляет всего лишь 3.79% от всего массива реферативных документов РББД «SciVerse Scopus» за изучаемый временной период.

Таблица 5  
Tabl. 5

Структура распределения реферативных документов по методам и методикам анализа фитоекдизонов (фитоекдистероидов) (1969–2015 гг.)\*  
Structure of distribution of abstract documents by methods and techniques of the analysis of phytoecdysones (phytoecdysteroids) (1969–2015) \*

Название метода и методики	Количество публикаций, абс. и %
High performance liquid chromatography (высокоэффективная жидкостная хроматография) [Lafont R. et al., 1994]	6 (42.88%)
High performance liquid chromatography – diode array detection (высокоэффективная жидкостная хроматография с диодно-матричным детектированием) [Li J. et al., 2007.]	1 (7.14%)
High performance liquid chromatography – electrospray ionization mass spectrometry (высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием с ионизацией электрораспылением) [Liu H., et al., 2006]	1 (7.14%)
High performance liquid chromatography – thermospray mass spectrometry (высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием с ионизацией термораспылением) [Marco M.-P. et al., 1993]	1 (7.14%)
High performance liquid chromatography coupled with diode array detector and electrospray tandem mass spectrometry (высокоэффективная жидкостная хроматография с диодно-матричным детектированием с тандемной масс-спектрометрией электрораспылением)	1 (7.14%)
Hydrophilic interaction-reverse phase liquid chromatography - mass spectrometry (гидрофильная обращённо-фазная жидкостная хроматография – масс-спектрометрия) [Ren M.-T. et al., 2009]	1 (7.14%)
Magnetic resonance spectroscopy C13 (магнитно-резонансная спектроскопия по изотопу углерода-13) [Canonica L. et al., 1973]	1 (7.14%)
Preparative-scale chromatography (препаративная хроматография) [Toth N., Bathori M., 2008.]	1 (7.14%)
Thin layer chromatography (тонкослойная хроматография) [Báthori M. et al., 2003]	1 (7.14%)

Примечание: \*данные представлены в ранжированном виде по степени убывания абсолютных и относительных значений.



Анализируя данные табл. 6, можно сделать вывод о том, что наиболее популярными методами анализа структуры ФЭ являются высокоэффективные жидкостные хроматографии с использованием государственных стандартных образцов ФЭ. Вклад данных методов в химический анализ ФЭ составляет 42.88% от всех опубликованных методов анализа на данный класс соединений, согласно данным РББД «SciVerse Scopus». Остальные физико-химические методы исследований представлены в РББД в одинаковом соотношении: высокоэффективная жидкостная хроматография в тандеме с масс-спектрометрическим детектированием; по типу ионизации исследуемых молекул – диодно-матричное детектирование, электрораспыление, термораспыление; магнитно-резонансная спектроскопия по изотопу углерода-13, тонкослойная хроматография на этапе скрининга выбора для анализа растительных организмов.

При анализе всего массива реферативных документов РББД «SciVerse Scopus» на предмет использования современных физико-химических методов анализа растительных организмов на ФЭ отсутствуют упоминания о следующих методах анализа: высокоэффективная тонкослойная хроматография с денситометрическим количественным определением, радиоиммунный анализ, турбулентная хроматография с высокоэффективной жидкостной хроматографией и масс-спектрометрией, масс-спектрометрия разных типов анализаторов: квадрупольный, времяпролётный; высокоэффективная противоточная хроматография, инфракрасная спектроскопия Фурье, гель-хроматография, спектрофотометрия, сверхкритическая флюидная хроматография, высокоэффективные жидкостные хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией по типу орбитальной ионной ловушки, химической ионизации при атмосферном давлении, фотоионизации при атмосферном давлении, бомбардировка быстрыми атомами, которые могут быть использованы в методах аналитической и препаративной хроматографии.

### Список литературы References

1. Оленников Д.Н. 2012. Структурно-функциональное исследование биополимеров растительного и базидиального происхождения и совершенствование методов их анализа. Дисс. докт. фарм. наук. Улан-Удэ: 310.  
Olennikov D.N. 2012. Structurno-funcional'noe issledovanie biopolimerov rastitel'nogo i bazidial'nogo proishozhdeniya i sovershenstvovanie ih analiza [Structurally functional research of biopolymers of a vegetable and bazidialny origin and perfecting of methods of their analysis]. Abstract. dis. ... doct. pharm. sciences. Ulan-Ude, 310. (in Russian)
2. Imai S., Murata E., Fujioka S., Koreeda M., Nakanishi K. 1969. Structure of ajugasterone C, a phytoecdysone with an 11-hydroxy-group. *Journal of the Chemical Society D: Chemical Communications*, 10: 546–547.
3. Imai S., Fujioka S., Murata E., Otsuka K., Nakanishi K. 1969. Structure of the phytoecdysone, ajugasterone B. *Journal of the Chemical Society D: Chemical Communications*, 3: 82–83.
4. Galbraith M.N., Horn D.H.S., Middleton E.J., Hackey R.J. 1969. The structure of podecdysone B, a new phytoecdysone. *Analytical Proceedings*. 8: 402–403.
5. Dinan L. 2001. Phytoecdysteroids: Biological aspects. *Phytochemistry*, 57 (3): 325–339.
6. Camps F., Coll J. 1993. Insect allelochemicals from *Ajuga* plants. *Phytochemistry*, 32 (6): 1361–1370.
7. Karuppusamy S. 2009. A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants by in vitro tissue, organ and cell cultures. *Journal of Medicinal Plants Research*. 3 (13): 1222–1239.
8. Adler J.H., Grebenok R.J. 1995. Biosynthesis and distribution of insect-molting hormones in plants-A review. *Lipids*. 30 (3): 257–262.
9. Soriano I.R., Riley I.T., Potter M.J., Bowers W.S. 2004. Phytoecdysteroids: A novel defense against plant-parasitic nematodes. *Journal of Chemical Ecology*. 30 (10): 1885–1899.
10. Schmelz E.A., Grebenok R.J., Galbraith D.W., Bowers W.S. 1999. Insect-induced synthesis of phytoecdysteroids in spinach, *Spinacia oleracea*. *Journal of Chemical Ecology*. 25 (8): 1739–1757.
11. Bandara B.M.R., Jayasinghe L., Karunaratne V., Wannigama G.P., Bokel M., Kraus W., Sotheeswaran S. 1989. Ecdysterone from stem of *Diploclisia glaucescens*. *Phytochemistry*. 28 (4): 1073–1075.

12. Harmatha J., Dinan L. 1997. Biological activity of natural and synthetic ecdysteroids in the BII bioassay. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 35 (1-2): 219–225.
13. Odinokov V.N., Galyautdinov I.V., Nedopekin D.V., Khalilov L.M., Shashkov A.S., Kachala V.V., Dinan L., Lafont R. 2002. Phytoecdysteroids from the juice of *Serratula coronata* L. (Asteraceae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 32 (2): 161–165.
14. Schmelz E.A., Grebenok R.J., Ohnmeiss T.E., Bowers W.S. 2002. Interactions between *Spinacia oleracea* and *Bradysia impatiens*: A role for phytoecdysteroids. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 51 (4): 204–221.
15. Lafont R., Morgan E.D., Wilson I.D. 1994. Chromatographic procedures for phytoecdysteroids. *Journal of Chromatography A*. 658 (1): 31–53.
16. Schmelz E.A., Grebenok R.J., Galbraith D.W., Bowers W.S. 1998. Damage-induced accumulation of phytoecdysteroids in spinach: A rapid root response involving the octadecanoic acid pathway. *Journal of Chemical Ecology*. 24 (2): 339–360.
17. Dinan L., Whiting P., Scott A.J. 1998. Taxonomic distribution of phytoecdysteroids in seeds of members of the chenopodiaceae. *Biochemical Systematics and Ecology*. 26 (5): 553–576.
18. Grebenok R.J., Adler J.H. 1993. Ecdysteroid biosynthesis during the ontogeny of spinach leaves. *Phytochemistry*. 33 (2): 341–347.
19. Kumpun S., Maria A., Crouzet S., Evrard-Todeschi N., Girault J.-P., Lafont R. 2011. Ecdysteroids from *Chenopodium quinoa* Willd., an ancient Andean crop of high nutritional value. *Food Chemistry*. 125 (4): 1226–1234.
20. Báthori M., Girault J.-P., Kalasz H., Mathé I., Dinan L.N., Lafont R. 1999. Complex phytoecdysteroid cocktail of *Silene otites* (Caryophyllaceae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 41 (1): 1–8.
21. Zibareva L., Volodin V., Saatov Z., Savchenko T., Whiting P., Lafont R., Dinan L. 2003. Distribution of phytoecdysteroids in the Caryophyllaceae. *Phytochemistry*. 64 (2): 499–517.
22. Meng Y., Whiting P., Zibareva L., Bertho G., Girault J.-P., Lafont R., Dinan L. 2001. Identification and quantitative analysis of the phytoecdysteroids in *Silene* species (Caryophyllaceae) by high-performance liquid chromatography: Novel ecdysteroids from *S. pseudotites*. *Journal of Chromatography A*. 935 (1-2): 309–319.
23. Shi Q., Yan S., Liang M., Yang Y., Wang Y., Zhang W. 2007. Simultaneous determination of eight components in *Radix Tinosporae* by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detector and electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 43 (3): 994–999.
24. Tavares M.C.H., Yariwake Vilegas, J.H., Lanças F.M. 2001. Phytoecdysteroid profiles in seeds of *Sida* spp. (Malvaceae). *Phytochemical analysis*. 12 (2): 110–119.
25. Syrov V.N., Kurmukov A.G. 1976. On anabolic activity of phytoecdizone ecdisterone isolated from *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin (Russian). *Farmakologiya i Toksikologiya*. 39 (6): 690–693.
26. Vokáč K., Buděšínský M., Harmatha J. 2002. Minor ecdysteroid components of *Leuzea carthamoides*. *Collection of Czechoslovak Chemical Communications*. 67 (1): 124–139.
27. Buděšínský, M., Vokáč, K., Harmatha, J., Cvačka, J. 2008. Additional minor ecdysteroid components of *Leuzea carthamoides*. *Steroids*. 73 (5): 502–514.
28. Wu J.-J., Cheng K.-W., Wang H., Ye W.-C., Li E.T.S., Wang M. 2009. Simultaneous determination of three phytoecdysteroids in the roots of four medicinal plants from the genus *Asparagus* by HPLC. *Phytochemical Analysis*. 20 (1): 58–63.
29. Nakano K., Nohara T., Tomimatsu T., Nishikawa M. 1982. A phytoecdysteroid, taxisterone, from *Taxus cuspidate*. *Phytochemistry*. 21 (11): 2749–2751.
30. Tomás J., Camps F., Claveria E., Coll J., Melé E., Messeguer J. 1992. Composition and location of phytoecdysteroids in *Ajuga reptans* in vivo and in vitro cultures. *Phytochemistry*. 31 (5): 1585–1591.
31. Tomás J., Camps F., Coll J., Melé E., Messeguer J. 1993. Phytoecdysteroid production by *Ajuga reptans* tissue cultures. *Phytochemistry*. 32 (2): 317–324.
32. Cheng D.M., Yousef G.G., Grace M.H., Rogers R.B., Gorelick-Feldman J., Raskin I., Lila M.A. 2008. In vitro production of metabolism-enhancing phytoecdysteroids from *Ajuga turkestanica*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 93 (1): 73–83.
33. Nagakari M., Kushiro T., Matsumoto T., Tanaka N., Kakinuma K., Fujimoto Y. 1994. Incorporation of acetate and cholesterol into 20-hydroxyecdysone by hairy root clone of *Ajuga reptans* var. *Atropurpurea*. *Phytochemistry*. 36 (4): 907–910.



34. Calcagno M.-P., Camps F., Coll J., Melé E., Sánchez-Baeza F. 1996. New phytoecdysteroids from roots of *Ajuga reptans* varieties. *Tetrahedron*. 52 (30): 10137–10146.
35. Lafont R., Kaouadji N., Morgan E.D., Wilson I.D. 1994. Selectivity in the high-performance liquid chromatography of ecdysteroids. *Journal of Chromatography A*. 658 (1): 55–67.
36. Li J., Li H.-J., Li P., Qi H. 2007. Simultaneous qualitation and quantification of four phytoecdysones in *Radix Achyranthis Bidentatae* by high-performance liquid chromatography with diode array detection. *Biomedical Chromatography*. 21 (8): 823–828.
37. Liu H., Huang Y., Wang Q., Zhang T., Song Y. 2006. Detection of saponins in extracts from the rhizomes of *Paris* species and prepared Chinese medicines by high performance liquid chromatography- electrospray ionization mass spectrometry. *Planta Medica*. 72 (9): 835–841.
38. Marco M.-P., Sánchez-Baeza F.J., Camps F., Coll J. 1993. Phytoecdysteroid analysis by high-performance liquid chromatography-thermospray mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 641 (1): 81–87.
39. Ren M.-T., Li H.-J., Sheng L.-S., Liu P., Li P. 2009. Rapid analysis of constituents of *Radix Cyathulae* using hydrophilic interaction-reverse phase LCMS. *Journal of Separation Science*. 32 (22): 3988–3995.
40. Canonica L., Danieli B., Ferrari G., Haimova M.A., Krepinsky J. 1973. The structure of a new phytoecdysone kaladasterone: An application of  $^{13}\text{C}$  magnetic resonance spectroscopy to structural problems. *Experientia*. 29 (9): 1062–1063.
41. Toth N., Bathori M. 2008. Preparative-scale chromatography of ecdysteroids: A class of biologically active steroids. *Journal of Chromatographic Science*. 46 (2): 111–116.
42. Báthori M., Kalász H., Janicsák G., Pongrácz Z., Vámos J. 2003. Thin-layer chromatography of phytoecdysteroids. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. 26 (16): 2629–2649.