

УДК 547.972:543.42:582.936:615.322:547.913

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕТАБОЛИТОВ РАСТЕНИЙ РОДА *EQUISETUM L.*

© Э.Х. Ботиров<sup>1\*</sup>, В.М. Боначева<sup>1</sup>, Н.Э. Коломиец<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сургутский государственный университет, ул. Ленина, 1, Сургут, 628412 (Россия), e-mail: botirov-neri@mail.ru

<sup>2</sup> Сибирский государственный медицинский университет, Московский тракт, 2, Томск, 634050 (Россия)

В обзоре обобщены сведения научной литературы по степени изученности химического состава и биологической активности метаболитов и экстрактов растений рода *Equisetum L.* мировой флоры. Многие виды хвощей широко используются в народной медицине в качестве мочегонного, кровоостанавливающего средства, а также при туберкулезе легких и кожных болезнях, при язвах, водянке, желтухе, как сердечное средство, при заболеваниях почек, мочевого пузыря и др. На основе экстрактов хвоща полевого (*Equisetum arvense L.*) создан ряд лекарственных препаратов и биологически активных добавок, обладающих широким спектром фармакологического действия. В обзоре приведены данные о структурном разнообразии и биологической активности метаболитов растений рода *Equisetum L.* Представлена информация о составе метаболитов 16 видов рода *Equisetum L.*, структуре и источниках более 200 природных веществ, относящихся терпеноидам, фитостеринам, брассиностероидам, витаминам, алкалоидам и другим азотсодержащим соединениям, лигнанам, стирилпиронам, инданонам, фенилпропаноидам, органическим кислотам, углеводородам, альдегидам и фенольным соединениям. Основными биологически активными веществами растений рода *Equisetum* являются флавоноиды и другие растительные фенольные соединения. Экстракты и индивидуальные соединения обладают антиоксидантными, диуретическими, антибактериальными, противогрибковыми, гепатопротекторными, гипогликемическими, антмутagenными, седативными, анксиолитическими, противоопухолевыми, противовоспалительными свойствами. Анализ литературных данных показывают, что растения рода *Equisetum* являются перспективными для создания новых эффективных лекарственных препаратов. Приведенные в обзоре сведения могут быть использованы в качестве справочной литературы фитохимикиами, биологами и фармакологами, а также для решения вопросов хемосистематики растений рода *Equisetum L.*

**Ключевые слова:** *Equisetum L.*, *Equisetaceae*, химический состав метаболитов, структурное разнообразие, биологическая активность.

**Сокращения:** ИК – инфракрасная спектроскопия, УФ – ультрафиолетовая спектроскопия, ГХ – газовая хроматография, МС – масс-спектрометрия, ЯМР – ядерный магнитный резонанс, ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография, *GlcP* –  $\beta$ -D-глюкопиранозид, *Galp* –  $\beta$ -D-галактопиранозид, *Rhap* –  $\alpha$ -L-рамнопиранозид, *Ac* – ацетил, *Mal* – малонил, *Caf* – кофеил, *Hex* – гексоза.

### Введение

Хвощи – древние сосудистые растения из отдела хвощевидных, представленные в современной флоре единственным родом *Equisetum L.* (семейство *Equisetaceae*). Насчитывается более 30 видов хвоща, которые распространены по всему земному шару, кроме Австралии, Новой Зеландии и тропической Африки [1, 2]. На территории России, по разным данным, род *Equisetum L.* представлен 12–15 видами, 10 из них произрастают в Сибири [1–3]. Хвощи распространены почти на всей территории России, кроме пустынных районов

Ботиров Эркин Хожиакбарович – профессор кафедры химии, e-mail: botirov-neri@mail.ru

Боначева Виктория Михайловна – кандидат химических наук, ассистент кафедры химии, e-mail: bwmbeml@mail.ru

Коломиец Наталья Эдуардовна – доктор фармацевтических наук, профессор кафедры фармакогнозии с курсами ботаники и экологии, e-mail: borkol47@mail.ru

и Крайнего Севера. Встречаются на песчаных лугах, в пойменных лесах, в зарослях кустарников, в посевах, а также в лесной зоне России, Украины, Беларуси [1–4]. Родовое название *Equisetum* образовано от латинского equus (лошадь) и seta (щетина), здесь в значении «хвост». Название встречается у Плиния для одного вида хвоща, который своими тонкими веточками напоминал хвост лошади.

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Позднее К. Линней использовал слово как родовое название, русское «хвощ» также указывает на сходство растения с пучком волос, хвостом [5, 6].

У систематиков на сегодняшний день нет единого мнения относительно классификации хвощей. Большинство авторов полагает, что современные хвощи формируют один отдел с двумя отличающимися подгруппами *Hippochaete* и *Equisetum* [7–10]. Некоторые другие систематики [11] рассматривают их как отдельные самостоятельные роды. Виды подрода *Hippochaete* (*E. hyemale*, *E. ramosissimum*, *E. rinihuense*, *E. scirpoides*, *E. laevigatum*, *E. giganteum*, *E. variegatum*, *E. myriochaetum*) за исключением *E. laevigatum* и *E. ramosissimum*, объединяет наличие вечнозеленых, живущих более одного сезона, перезимовывающих, очень жестких, нерегулярно ветвящихся или совсем без ветвей стеблей, на концах которых развиваются верхушечные стробилы. Надземные побеги хвощей этого подрода не делятся на вегетативные и спороносные. У видов подрода *Equisetum* (*E. arvense*, *E. palustre*, *E. sylvaticum*, *E. telmateia*, *E. diffusum*, *E. fluviatile*, *E. bogotense*, *E. pratense*) относительно мягкие и недолговечные регулярно ветвящиеся стебли. Кроме того, их побеги дифференцируются на вегетативные и спороносные [7–11].

Хвощ полевой (*E. arvense* L.) – широко распространенный сорняк. Растет по полям, лугам, пустырям, оврагам, в придорожных канавах, на откосах дорог [2–4, 6, 12, 13]. Видовое определение *arvensis* (полевой) дано виду по месту обитания. Из всего рода хвощ официальным лекарственным растением является хвощ полевой, растущий на лугах, в еловых, светлохвойных, липовых, осиновых, сосново-березовых, березовых и смешанных лесах. Предпочитает пойменные леса, берега рек, кустарниковые заросли. Как сорняк часто встречается на полях и огородах. Встречается по обочинам дорог, на откосах железнодорожных насыпей, возле канав, в песчаных и глинистых карьерах и котлованах. В посевах весьма обилён и относится к числу трудноискоренимых корневищных сорняков.

Хвощ лесной (*E. sylvaticum* L.) распространён в лесах, зарослях кустарников, на лесных и субальпийских лугах, кочкарных болотах. Хвощ луговой (*E. pratense* L.) встречается в Западной Сибири, Тюменской области, в Хакасской автономной области, Курганской области, Омской, Новосибирской, Кемеровской областях. Чаще встречается в лесах, среди кустарниковых зарослей, на каменистых россыпях. Хвощ зимующий (*E. hyemale* L.) произрастает в лесах, среди пойменных кустарников, на лесных лугах, обрывистых берегах рек, ручьев [3, 4, 6].

Из всего рода хвощ только хвощ полевой *Equisetum arvense* L. является официальным лекарственным растением. Промысловые заготовки хвоща полевого осуществляется в Ставропольском крае, Псковской, Вологодской, Владимирской, Пермской, Томской областях [6]. Природные запасы в сотни раз превышают потребности в его сырье. Трава хвоща полевого включена в отечественную фармакопею 8, 9, 11, и 14-го изданий и фармакопеи ряда зарубежных стран (США, Великобритания, страны Евросоюза, Украина, Белоруссия и т.д.) [14–18]. Еще один вид – хвощ зимующий представлен в гомеопатической Фармакопее Бельгии, США, Франции, Германии. Традиционно экстракты, настои травы хвоща полевого в России, и за-рубежом, по данным Европейского агентства лекарственных средств (ЕМА), используют в качестве диуретического средства при заболеваниях мочевыводящих путей (пиелиты, циститы, уретриты), отеках на фоне сердечной недостаточности, плевритах с большим количеством экссудата, благодаря антимикробным, противовоспалительным, литолитическим свойствам при бактериальных воспалительных заболеваниях мочевыводящих путей и мочекаменной болезни [6, 12, 13, 19].

Хвощ в большей степени, чем другие мочегонные средства, способствует выделению свинца при хронических отравлениях свинцом [13–15]. Настой хвоща используют как кровоостанавливающее средство при геморроидальных и маточных кровотечениях и при некоторых формах туберкулеза, связанного с нарушением силикатного обмена. В качестве лекарственных форм для внутреннего применения используют настой и жидкий экстракт из травы хвоща полевого [12, 13, 15]. Экстракт хвоща полевого входит в состав комплексных растительных препаратов «Марелин» (ЗАО Вифитех), и «Фитолизин» (Herbapol, Польша), Цистон (Хималай Драг Ко, Индия), применяемых при мочекаменной болезни, кристаллурии, инфекциях мочевыводящих путей, Тонзилгон® Н в качестве иммуностимулирующего средства при острых и хронических заболеваниях верхних дыхательных путей, Полигемостат (ООО «Технопарк-Центр»), применяемый при капиллярных и венозных кровотечениях [20]. Кроме того, хвощ полевой входит в состав сборов «Урологический сбор», «Климактерический сбор», слабительного чая «Депурафлукс» («Natterman», Германия), противодиабетического сбора «Арфазетин» витаминно-минеральных комплексов Vitrum Beaty и большого ассортимента БАД к пище, выпускаемых как отечественными, так и зарубежными производителями. Трава хвоща

полевого включена в сбор Здренко, используемого при анацидных гастритах, папилломатозе мочевого пузыря и противоастматической микстуры по прописи Траскова [6, 15]. В составе различных сборов назначают при атеросклерозе, гипертонической болезни, туберкулезе, при отравлении свинцом. Хвощ полевой рекомендован в комплексном лечении иммунодефицитных состояний, ишемической болезни сердца, при отеках. Настой и экстракт травы хвоща полевого входит в состав косметических кремов, гелей, шампуней разных производителей, рекомендуемых благодаря высокому содержанию кремния для укрепления волос, ногтей, улучшения состояния кожи.

Большой интерес представляют сообщения об экспериментальном изучении и клинической апробации применения экстракта хвоща полевого при лечении остеопороза [21–23].

Информация о качественном составе биологически активных веществ (БАВ) рода хвощ носит фрагментарный характер. Химическая характеристика большинства видов неполная, а у некоторых представителей рода отсутствует. Наиболее изучен фенольный комплекс хвоща полевого, произрастающего в Европейской части России, Польше и Японии; значительное число видов флоры Сибири не изучено.

Цель настоящей работы – обобщение и систематизирование многочисленных сведений о химических метаболитах и биологической активности экстрактов и выделенных индивидуальных соединений растений рода *Equisetum*, опубликованных в мировой научной литературе.

### Химический состав растений рода *Equisetum*

Анализ данных литературы о химическом составе метаболитов растений рода *Equisetum* L. свидетельствует о его разнообразии. В результате фитохимических исследований в различных органах растений этого рода обнаружено более 210 природных соединений: гидроксibenзойные кислоты – 1–7, гидроксикоричные кислоты и их производные – 8–18, фенольные соединения и их гликозиды – 19–21, фенилпропаноиды – 22–24, флавоноиды (флавоны, флавонолы и флаваноны) – 25–97, алкалоиды и другие азотсодержащие соединения – 98–114, производные стирилпирона – 115–118, производные инданона – 119–120, моно-, сескви- и дитерпеноиды – 121–139, фитостерины – 140–147, брассиностероиды – 148–151, тритерпеноиды – 152–159, органические кислоты и сложные эфиры – 160–175, витамины – 176–180, лигнаны – 181–182, углеводороды, альдегиды и сульфоны – 183–188, каротиноиды, углеводы, липиды, сапонины, дубильные вещества, белки, соединения кремния и другие минеральные вещества (табл.). Анализ литературных данных показывает, что к настоящему времени наиболее изученными видами в химическом отношении являются *E. arvense* и *E. sylvaticum*.

### Метаболиты растений рода *Equisetum*

№	Название метаболита	Вид и литература
1	2	3
<i>Гидроксibenзойные кислоты</i>		
1	<i>n</i> -Гидроксibenзойная кислота	E1* [15, 24, 27, 54, 55], E2 [24], E4 [24], E5 [24], E9 [28], E12 [24], E14 [67]
2	Протокатеховая кислота	E1 [15, 24, 27, 54, 55], E2 [24], E4 [24], E5 [24], E6 [24], E7 [24], E8 [24], E9 [24, 28, 29], E10 [24], E12 [24]
3	Ванилиновая кислота	E1 [15, 27, 54, 55, 84]
4	Метилловый эфир протокатеховой кислоты	E1 [15, 24, 26, 66]
5	Галловая кислота	E1 [15, 24, 27, 54], E2 [24]
6	Сиреневая кислота	E1 [84]
7	Эллаговая кислота	E2 [24]
<i>Гидроксикоричные кислоты и их производные</i>		
8	<i>n</i> -Кумаровая кислота	E1 [15, 24, 27, 64, 55, 84], E2 [24], E4 [24], E5 [24], E6 [24], E7 [24], E8 [24], E9 [24, 28, 29], E10 [24], E12 [24]
9	Кофейная кислота	E1 [15, 24, 27, 54, 55, 84], E2 [24], E5 [24], E6 [24], E7 [24], E9 [24, 28, 29]
10	Метилловый эфир кофейной кислоты	E1 [15, 24, 26, 66]
11	Кафеоил-метилат-4-О- <i>GlcP</i>	E13 [61]
12	Феруловая кислота	E1 [15, 24, 27, 64, 55, 84], E2 [24], E4 [24], E5 [24], E14 [67]
13	Синаповая кислота	E1 [84]
14	Хлорогеновая кислота	E1 [24, 27, 41, 66], E2 [24], E5 [24]
15	5-Кофеилшикимовая кислота	E1 [15, 26, 40, 41, 87], E2 [87], E9 [87], E11 [87]

Продолжение таблицы

1	2	3
16	Моно-О-(Е)- <i>Caf</i> -мезовинная кислота	E1 [26, 41, 77, 87], E2 [87], E6 [87], E9 [87], E11 [87]
17	Цикориевая кислота	E1 [15, 22, 26, 37, 38, 41, 66, 87]
18	Эквизетумозид С	E1 [22, 26, 31, 66]
Фенольные соединения и их гликозиды		
19	Эквизетумозид А	E1 [22, 26, 31, 66]
20	Эквизетумозид В	E1 [22, 26, 31, 66], E14 [67]
21	Дебилитриол	E14 [67]
Фенилпропаноиды		
22	Кониферин	E1 [31]
23	Гваяцилглицерол-β-кониферил эфир	E14 [67]
24	Дебилигнанозид	E14 [67]
Флавоноиды		
25	Апигенин	E1 [15, 22, 26, 45, 47, 55, 66, 74, 85], E2 [87], E4 [15]
26	5,4'-Дигидрокси-7-метоксифлавонон (генкванин)	E1 [15, 45, 50]
27	6-Хлорапигенин (5,7,4-триокси-6-хлорфлавонон)	E1 [15, 45, 53]
28	Дихлорапигенин (6,8-дихлорапигенин)	E1 [24, 73], E5 [24, 73]
29	Апигенин-5-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 24, 22, 26, 46, 51, 66, 73, 74, 77], E5 [24, 73]
30	Апигенин-4'-О- <i>GlcP</i>	E1 [24, 42, 73], E2 [24, 87], E5 [24, 73]
31	Апигенин-5-О-(6''- <i>OMal</i> ) <i>GlcP</i>	E1 [15]
32	Апигенин-8-С- <i>GlcP</i> (витексин)	E1 [15]
33	Апигенин-6-С- <i>GlcP</i> (изовитексин)	E1 [15, 46, 47]
34	Апигенин-6,8-ди-С- <i>GlcP</i> (виценин-2)	E1 [15, 45]
35	Генкванин-5-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 24, 22, 26, 52, 66, 73, 74], E5 [24, 73]
36	Генкванин-5-О-(6''- <i>OMal</i> ) <i>GlcP</i>	E1 [15]
37	Генкванин-4'-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 22, 32, 74]
38	Протогенкванин-4'-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 32]
39	Лютеолин	E1 [15, 22, 26, 50, 55, 59, 74, 85]
40	Лютеолин-5-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 22, 24, 26, 46, 52, 66, 73, 74], E5 [24, 73]
41	Лютеолин-5-О-(6''- <i>OMal</i> ) <i>GlcP</i>	E1 [15]
42	Лютеолин-7-О- <i>GlcP</i>	E1 [59]
43	Лютеолин-4'-О- <i>GlcP</i>	E1 [59]
44	Кемпферол	E1 [15, 48, 66851], E4 [15], E6 [151, 87], E7[15], E9 [15, 58], E11 [15, 87], E12 [15]
45	Дихлоркемпферол (6,8-дихлоркемпферол)	E1 [24, 73], E5 [24, 73]
46	Кемпферол-3-О- <i>GlcP</i> (астрагалин)	E1 [15, 24, 73, 74, 77], E2 [15, 24, 87], E3 [56], E4 [15], E5 [24, 73], E6 [15, 24, 87], E7 [15, 24], E9 [15, 24, 28, 29, 57, 87], E10 [15, 24], E11 [15, 64, 87], E12 [15]
47	Кемпферол -3-О-(6''- <i>OAc</i> ) <i>GlcP</i>	E11 [87]
48	Кемпферол -3-О-(6''- <i>OMal</i> ) <i>GlcP</i>	E2 [87]
49	Кемпферол-3-О- <i>Rhap</i>	E11 [15]
50	Кемпферол-7-О- <i>GlcP</i>	E1 [15], E2 [15], E7[24], E9 [15, 29, 65], E11 [15, 64], E12 [15]
51	Кемпферол-7-О- <i>Rhap</i>	E9 [15], E11 [64]
52	Кемпферол-3-О-(6''- <i>Rhap</i> )- <i>GlcP</i> (никотифлорин)	E1 [15, 24], E4 [15], E6 [15, 24, 87], E7 [15, 24], E9 [15, 24, 28, 29, 65], E11 [15]
53	Кемпферол-3'-О-(6''- <i>Rhap</i> )- <i>GlcP</i>	E9 [87]
54	Кемпферол-3-О-(6''- <i>Rhap</i> )- <i>GlcP</i> -7-О- <i>GlcP</i>	E1 [24], E3 [83], E5 [24], E6 [15, 24, 87], E7 [15, 24], E9 [24, 29, 87], E11 [15, 64, 87]
55	Кемпферол-3-О-(6''- <i>Rhap</i> )- <i>GlcP</i> -7-О- <i>Rhap</i>	E9 [24, 65], E11 [64]
56	Кемпферол-3-О-(6''- <i>Rhap</i> )- <i>GlcP</i> -7-О-(2''- <i>GlcP</i> )- <i>GlcP</i>	E6 [87]
57	Кемпферол-3-О-β-D-(2''- <i>GlcP</i> )- <i>GlcP</i>	E1 [15, 24, 22, 26, 30, 33, 43, 46, 48, 66, 73, 74], E2 [24], E3 [56], E4 [24], E5 [24, 73], E6 [15, 24], E7 [24, 43], E8[15, 24, 544], E9 [15, 24, 28, 43], E10 [24], E12 [15, 24], E13 [61]
58	Кемпферол-3-О-(2''- <i>GlcP</i> )- <i>GlcP</i> -4'-О- <i>Gl</i> - <i>GlcP</i>	E4 [24], E8 [24], E10 [24], E12 [24], E13 [61]
59	Кемпферол-3,7-ди-О- <i>Rhap</i> (леспедин или кемпферетрин).	E6 [24], E9 [60]
60	Кемпферол-3,7-ди-О- <i>GlcP</i>	E1 [15, 24, 33, 66, 73, 74], E2 [15, 24, 87], E3 [56], E4 [15, 24], E5 [24, 73], E6 [15, 24], E7 [15], E8 [24], E9 [15, 24, 29, 57, 87], E10 [15, 24], E11 [15, 64, 87], E12 [15, 24], E13 [61]

Продолжение таблицы

1	2	3
61	Кемпферол-7-О-(Glc)-Glc (эквизетрин)	E1 [6]
62	Кемпферол-3-О-(6"-OAc)Glc-7-О-Glc	E7 [24], E11 [15, 64, 87]
63	Кемпферол-3-О-(6"-OAc)Glc-Rhap	E11 [15, 64]
64	Кемпферол-3-О-(2"-Glc)-Glc-7-О-Glc	E1 [22, 26, 31, 43, 66], E3 [56], E4 [15], E8 [15, 44], E9 [43], E12 [15]
65	Кемпферол-3-О-Glc-7-О-(Glc)-Glc	E12 [15]
66	Кемпферол-3-О-(Glc)-Glc-7-О-Glc	E1 [15], E2 [15], E4 [15], E7 [15], E10 [15], E12 [15]
67	Кемпферол-3-О-Glc-7-О-Rhap	E9 [24, 28, 29, 57, 87], E11 [15, 64, 87]
68	Кемпферол-3-О-(6"-OAc)Glc-7-О-Rhap	E11 [87]
69	Кемпферол-3-О-Galp-7-О-Rhap	E9 [58]
70	Кемпферол-3-О-(6"-OMal)Glc-7-О-Glc	E1 [22, 26, 30, 66]
71	Кверцетин	E1 [15, 48, 85, 87], E4 [15], E6 [15], E7[15], E9 [15, 87], E11 [15], E12 [15]
72	Кверцетин-3-О-Glc (изокверцитрин)	E1 [15, 24, 22, 26, 30, 32, 46, 48, 66, 74, 77, 87], E2 [24], E5 [24], E6 [15, 24], E9 [15, 24, 28, 29, 57]
73	Кверцетин-3-О-Rhap (кверцитрин)	E9 [24]
74	Кверцетин-7-О-Glc (кверцимеритрин)	E1 [15], E4 [15], E7[15], E9 [15], E11 [15]
75	Кверцетин-3-О-Glc-7-О-Rhap	E1 [24], E9 [15, 24, 28, 29]
76	Кверцетин-3-О-Rhap-4'-О-Glc	E9 [60]
77	Кверцетин-3-О-(6"-Rhap)-Glc (рутин)	E6 [24, 84], E9 [15, 24, 28, 65]
78	Кверцетин-3-О-(6"-Rhap)-Glc-7-О-Rhap	E9 [15, 24, 28, 29, 58, 65]
79	Кверцетин-3-О-(2"-Glc)-Glc	E1 [15, 24, 22, 32], E9 [15, 28, 29]
80	Кверцетин-3-О-(6"-Glc)-Glc	E9 [28, 29]
81	Кверцетин-3-О-(6"-Rhap)-Glc-7-О-Glc	E9 [28]
82	Кверцетин-3,7-ди-О-Glc	E1 [24], E3 [56], E6 [24]
83	Кверцетин-3-О-(Glc)-Glc-7-О-Glc	E9 [15], E12 [15]
84	Кверцетин-3-О-(Glc)-Glc-7-О-Rhap	E1 [45], E9 [29]
85	Кверцетин-3-О-(6"-OMal)Glc	E1 [15, 32, 87]
86	Кверцетин-3-О-(Caf)Glc	E3 [56]
87	Кверцетин-три-О-Hex	E3 [56]
88	Мирицетин	E1 [84]
89	Гербацетин-3-О-Glc (гербацитрин)	E9 [29, 42], E12 [15]
90	Госсипетин-7-О-Glc (госсипитрин)	E1 [15, 24, 42], E2 [24], E4 [24], E5 [24], E6 [24], E7[24], E8 [24], E9 [15, 24, 29], E10[24], E11 [15], E12 [24]
91	Госсипетин-3-О-(2"-Glc)-Glc 8-О-Glc	E4 [15]
92	Гербацетин-3-О-(2"-Glc)-Glc)-8-О-Glc	E4 [15]
93	Нарингенин (5,7,4'-тригидроксифла- ванон)	E1 [15, 49, 55, 84]
94	Дигидрокемпферол (аромадендрин)	E1 [15, 49, 55]
95	Дигидрокверцетин (таксифолин)	E1 [15, 49, 55]
96	Катехин	E1 [84]
97	Эпикатехин	E1 [84]
<i>Алкалоиды и другие азотсодержащие соединения</i>		
98	Никотин	E1 [12, 26, 82], E2 [63], E7 [15, 63], E8 [15], E11 [15], E15 [63]
99	Палюстрин (эквизетин)	E1 [12, 26], E2 [63], E7 [15, 63, 86], E8 [15], E15 [63]
100	N-Формилпалюстрин (палюстридин, эквизетонин)	E7 [62, 86]
101	N-Ацетилпалюстрин	E7 [62]
102	18-Дезоксипалюстрин	E7 [86]
103	Палюстридиен	E2 [63], E7 [62, 63], E15 [63]
104	N-Формилпалюстридиен	E7 [62]
105	Эквизетумин	E14 [67]
106	Палюстринин	E1 [26]
107	Уридин	E1 [31]
108	Инозин	E1 [31]
109	2'-Дезоксиинозин	E1 [31]
110	2'-Дезоксицитидин	E1 [31]
111	Тимидин	E1 [31], E14 [67]
112	5-Карбокси-2'-дезоксиуридин	E1 [31]
113	Триптофан	E1 [31]
114	3-Метоксипиридин	E1 [1, 4, 76]

Продолжение таблицы

1	2	3
Производные стирилпирона		
115	Эквизетумпирон	E1 [22, 26, 34, 39], E3[56]
116	3'-Дезоксиэквизетумпирон	E1 [22, 26, 35, 36]
117	4'-О-Метиэквизетумпирон	E1 [22, 26, 35, 36]
118	3-Гидроксигиспидин-3,4'-ди-О- <i>GlcP</i>	E3 [56]
Производные инданона		
119	Онитин	E1 [15, 22, 25, 26, 45, 46, 74, 78], E9 [29]
120	Онитин-2'-О- <i>GlcP</i>	E1 [22, 25, 26, 74]
<i>Моно- и сескви- и дитерпеноиды и их производные</i>		
121	Тимол	E1 [68]
122	Анетол	E1 [68]
123	1,8-Цинеол	E1 [68]
124	Линалоол	E1 [68]
125	Камфора	E1 [68]
126	Ментон	E1 [68]
127	Борнил ацетат	E1 [68]
128	$\alpha$ -Копаен	E1 [68]
129	$\beta$ -Боурбонен	E1 [68]
130	( <i>E,E</i> )- $\alpha$ -Фарнезен	E1 [68]
131	$\beta$ -Кариофиллен	E1 [68]
132	Кариофиллен оксид	E1 [68]
133	Гексагидрофарнезилацетон	E1 [68]
134	<i>cis</i> -Геранилацетон	E1 [68]
135	<i>trans</i> -Фитол	E1 [68]
136	<i>trans</i> - $\beta$ -Дамасценон	E1 [68]
137	( <i>E,E</i> )-Фарнезилацетон	E1 [68]
138	<i>trans</i> - $\beta$ -Ионон	E1 [68]
139	<i>trans</i> - $\alpha$ -Ионон	E1 [68]
Фитостерины		
140	Холестерол	E1 [26, 79]
141	Эпихолестанол	E1 [26, 79]
142	24-Метилхолестерол	E1 [26, 80]
143	Изофукостерол	E1 [26, 79, 80]
144	Кампестерол	E1 [26, 79, 80]
145	$\beta$ -Ситостерол	E1 [26, 79, 80]
146	22-Дигидробрассикастерин	E1 [15]
147	Клионастерин	E1 [15]
Брассиностероиды		
148	Норбрассенолид	E1 [15, 81]
149	Долихостерон	E1 [15, 81]
150	Норкастастерон	E1 [15, 81]
151	Кастастерон	E1 [15, 81]
<i>Тритерпеноиды</i>		
152	Изобауренол	E1 [26, 79]
153	Тараксерол	E1 [26, 79]
154	Жерманикол	E1 [26, 79]
155	Урсоловая кислота	E1 [26, 79]
156	Бетулиновая кислота	E1 [26]
157	Олеаноловая кислота	E1 [26, 79]
158	$\alpha$ -Амирин	E1 [79]
159	$\beta$ -Амирин	E1 [79]
Органические кислоты и сложные эфиры		
160	Яблочная кислота	E1 [1, 15]
161	Щавелевая кислота	E1 [1, 12]
162	Аконитовая кислота	E1 [1, 15]
163	Винная кислота	E1 [66]
164	(2 <i>R</i> ,3 <i>S</i> )-2,3,4-Тригидроксибутановая кислота	E1 [76]
165	Фумаровая кислота	E1 [15]

Окончание таблицы

1	2	3
166	Глюконовая кислота	E1 [15]
167	Глицериновая кислота	E1 [15]
168	Малоновая кислота	E1 [15]
169	Хинная кислота	E1 [15]
170	Арабиноновая кислота	E1 [76]
171	Эквизетоловая кислота	E1 [76]
172	14-Метилнакозандиовая кислота	E5 [89]
173	14,15-Диметилтриаконтандиовая кислота	E5 [89]
174	Метил гексадеканат	E1 [68]
175	Диэфир 2-метил-1- <i>трет</i> -бутил-1,3-пропандиола с изомасляной кислотой	E1 [68]
Витамины		
176	Аскорбиновая кислота	E1 [12, 66], E16 [75]
177	Тиамин	E16 [75]
178	Ниацин	E16 [75]
179	Рибофлавин	E16 [75]
180	Витамин К	E16 [75]
Лигнаны		
181	(+)-Ларицирезинол 9-О- <i>GlcP</i>	E14 [67]
182	(+)-Изоларицирезинол 3а-О- <i>GlcP</i>	E14 [67]
Углеводы, альдегиды и сульфоны		
183	Геникозан	E1 [68]
184	Трикозан	E1 [68]
185	Нонаналь	E1 [68]
186	15-Октадеценаль	E1 [68]
187	5-Гидроксиметил-2-фурфурол	E14 [67]
188	Диметилсульфон	E1 [1, 12]

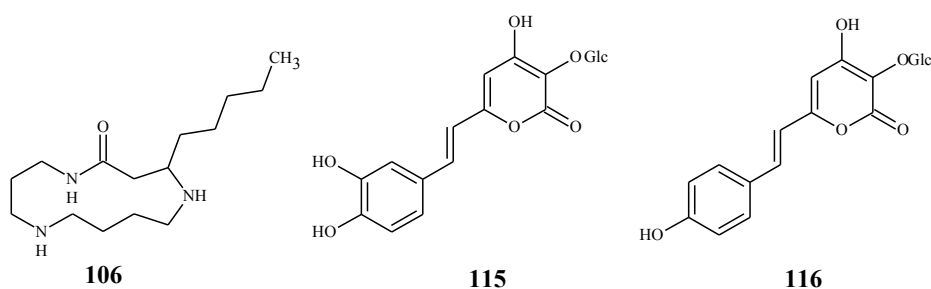
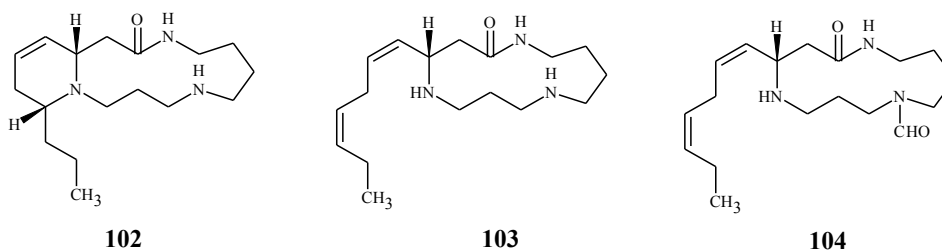
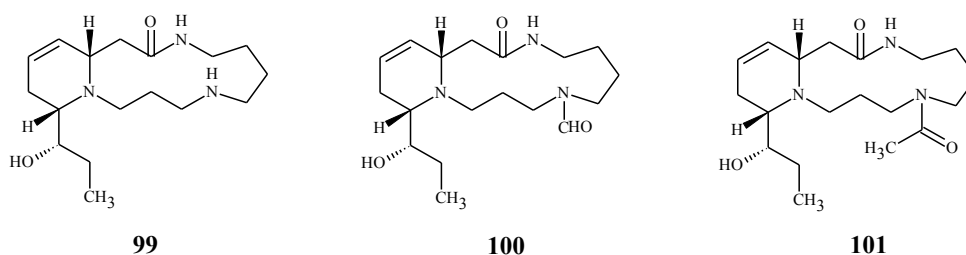
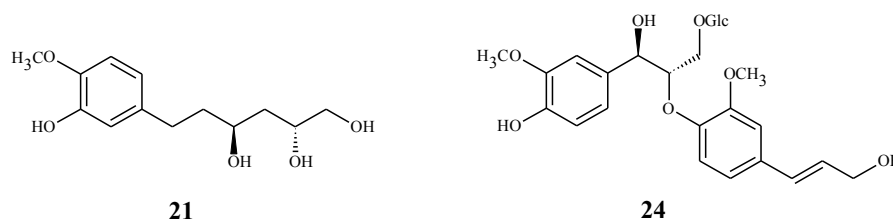
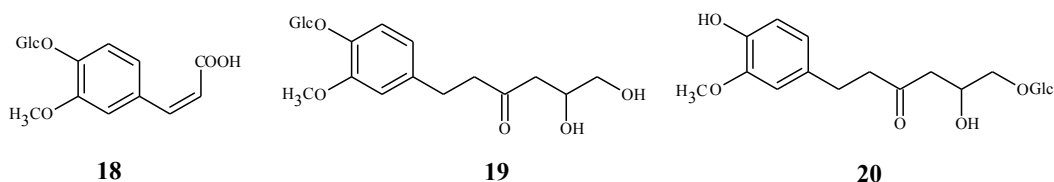
\*Обозначения: *E. arvense* L. (хвощ полевой) – E1, *E. fluviatile* (хвощ приречной или хвощ топяной) – E2, *E. giganteum* L. (хвощ гигантский) – E3, *E. hyemale* L. (хвощ зимующий) – E4, *E. litorale* (хвощ береговой) – E5, *E. pratense* L. (хвощ луговой) – E6, *E. palustre* L. (хвощ болотный) – E7, *E. ramosissimum* (хвощ ветвистый) – E8, *E. sylvaticum* L. (хвощ лесной) – E9, *E. scirpoides* Michx. (хвощ камышовый) – E10, *E. telmateia* Ehrh. (хвощ большой) – E11, *E. variegatum* (хвощ пестрый) – E12, *E. myriochaetum* (хвощ многощетинковый) E13, *E. debile* Roxb – E14, *E. bogotense* – E15, *E. ravens* – E16.

Дополнение к таблице: из различных видов *Equisetum* выделены нижеуказанные каротиноиды и углеводы: α-каротин (E1, E2, E4, E9, E11), β-каротин (E1, E2, E4, E6, E7, E9, E11), γ-каротин (E1, E2, E6, E7, E9, E11), лютеин (E1, E4, E6, E7, E11), эпоксид лютеина (E1, E2, E4, E6, E7, E9, E11), зеаксантин (E1, E2, E4, E6, E7, E9, E11), адониксантин (E1, E6), ликопилл (E1, E4, E6), виолаксантин (E1, E2, E4, E6, E9, E11), мутатоксантин (E1, E2, E11), родоксантин (E1, E11), неоксантин (E1, E2, E6, E7, E9), эхиноенон (E7), ликоксантин (E6, E7), α-дорадоксантин (E6), антраксантин (E9), β-криптоксантин (E2), галактоза (E1, E7, E9), глюкоза (E1, E7, E8, E9, E11), фруктоза (E7, E8, E11), манноза (E1, E7, E9), арабиноза (E1, E7, E9), ксилоза (E1, E7, E9), галактуроносовая кислота (E7, E9) [21].

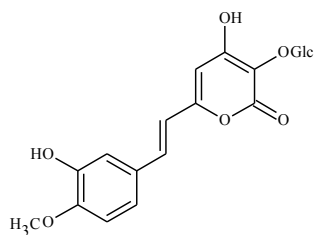
**Флавоноиды.** Первые работы по исследованию химического состава растений семейства хвощевых появились в 40-х годах XX века. Японские ученые Нахамура и Хукути выделили из хвоща полевого флавоноиды эквизетрин (63), изокверцитрин (73) и 5-гликозид лютеолина (42) [14, 26]. Позднее из сырья хвоща полевого выделены производные кемпферола и кверцетина [47, 48]. По результатам исследований флавоноидов растений рода *Equisetum* L. зарубежными учеными опубликованы многочисленные работы [22, 25, 26, 30–44]. Большой вклад в изучении компонентов растений рода хвощ внесли отечественные ученые А.И. Сырчина и Н.Э. Коломиец [14, 24, 45]. Наиболее изученным классом соединений растений рода хвощ являются флавоноиды. К настоящему времени исследованы флавоноиды 13 видов растений рода *Equisetum* L., из которых выделены и идентифицированы 72 вещества (табл.). Флавоноиды, продуцируемые растениями рода *Equisetum*, представлены: флавонами (25–43), флавонолами (44–92), флаванонами (93–95) и флаван-3-олами (96, 97) (табл.). Из четырех видов рода *Equisetum* (*E. arvense*, *E. fluviatile*, *E. hyemale*, *E. litorale*) выделено 19 производных флавана, из которых пять являются агликонами а 14 – гликозидами апигенина (25), ганкванина (26) и лютеолина (39). Флавонолы являются доминантной группой среди флавоноидов растений рода *Equisetum*. Выделено 48 флавонолов, 4 из которых являются агликонами. Остальные соединения представлены гликозидами и ацилгликозидами кемпферола (44), кверцетина (71), гербацетина (3,5,7,8,4'-

пентагидроксифлавона) и госсипетина (3,5,7,8,3',4'-гексагидроксифлавона). Разнообразие гликозидов флавонолов обусловлено природой, количеством и взаимным расположением углеводных остатков. В качестве углеводной компоненты в гликозидах флавоноидов растений данного рода встречаются ограниченный набор моносахаридов (D-глюкоза, L-рамноза, D-галактоза) и биозидов (софороза, рутиноза). Следует отметить, что в растениях рода *Equisetum* глюкурониды флавоноидов не обнаружены. Группа флаванонов представлена нарингенином (5,7,4'-тригидроксифлаванон, 93), дигидрокемпферолом (аромадендрин, 94) и дигидрокверцетином (таксифолин, 95).

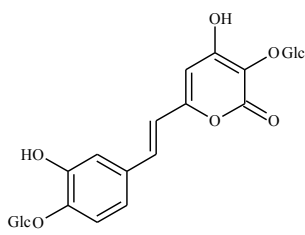
**Структурные формулы новых соединений, выделенных из растений рода *Equisetum***



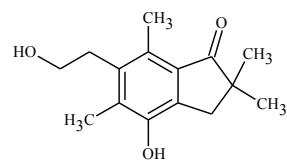




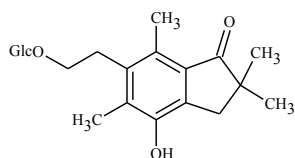
117



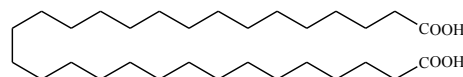
118



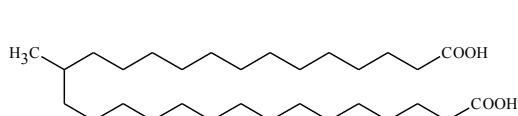
119



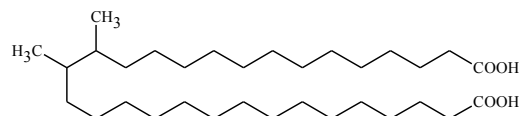
120



171



172



173

Все они выделены из *E. arvense* [49]. А.И. Сырчиной в свежей траве хвоща полевого и его спороносных стеблях установлено наличие 26 фенольных соединений, в состав которых входят флавоноиды и фенолокси-лоты [45-55]. Из хвоща полевого выделены С-гликозиды флавонов: апигенин-8-С-*Glc*p (витексин, 32) апигенин-6-С-β-D-глюкопиранозид (изовитексин, 33) и апигенин-6,8-ди-С-β-D-глюкопиранозид (виценин-2, 34), что представляет филогенетический интерес, поскольку С-гликозиды ранее были найдены во всех классах высших растений за исключением семейства хвощевых [24, 27]. Наиболее интересным фактом является обнаружение в хвоще полевом и хвоще береговом природного галогенсодержащего флавоноида 6-хлорапигенина (29) [15, 45, 53]. Впоследствии 6,8-дихлорапигенин (30) и 6,8-дихлоркемпферол (47) обнаружены *E. arvense* and *E. x litorale* методом ВЭЖХ-МС [24, 73]. Галогенированные фенольные соединения в природе встречаются очень редко. Практически все известные в настоящее время галогенированные фенольные соединения выделены из микроорганизмов и низших растений. Поэтому факт обнаружения подобных соединений в хвощах, с одной стороны, подтверждает их древнее происхождение, с другой – является своеобразным связующим звеном между низшими и высшими растениями. Установлено, что сибирские образцы хвоща полевого отличаются от европейских наличием 5-О-β-D-глюкопиранозида лютеолина (42), что, вероятно, связано с эколого-географическим фактором, приводящим к образованию хемотипов [24, 27]. Следует отметить, что 5-О-гликозиды апигенина и лютеолина имеют ярко-голубую флуоресценцию в УФ-свете при длине волны 366 нм, что положено в основу идентификации сырья [6, 24, 27]. Н.Э. Коломиец в зависимости от состава флавоноидов виды рода *Equisetum* разделила на три группы: виды, накапливающие только гликозиды кемпферола (*E. palustre*, *E. hiemale*, *E. scirpoides*, *E. variegatum*, *E. ramossissimum*); виды, накапливающие гликозиды кемпферола и кверцетина (*E. pratense*; *E. sylvaticum*); виды, накапливающие гликозиды кверцетина, кемпферола, апигенина, генкванина и лютеолина (*E. fluviatile*, *E. arvense*, *E. x litorale*) [24]. Проведенные исследования позволили определить константные вещества для рода *Equisetum* L. К ним отнесены 5 веществ: гликозид госсипетина (91), кемпферол-3-О-софорозид (57), кемпферол-3,7-О-диглюкозид (60), протокатеховая (2) и п-кумаровая кислоты (8). Предложены таксономические маркеры для обоих подродов *Equisetum* Sad. – кемпферол-3-О-β-D-гликозид (46); *Hippochaete* Milde – кемпферол-3-О-софорозид-4'-О-гликозид (58) и некоторых видов. Так, для *E. arvense* и *E. litorale* – 5-глюкопиранозиды лютеолина (40), апигенина (29) и генкванина (35), для *E. palustre* – кемпферол-3,7-ди-О-α-L-рамнопиранозид (59) [24]. Как видно из данных таблицы, в хвоще лесном, в отличие от хвоща

полевого, не обнаружены флавоны и их гликозиды, что, вероятно, обусловлено особенностями ферментных систем указанных видов, ответственных за синтез флавоноидов.

**Фенолкарбоновые кислоты.** Из 11 видов растений рода *Equisetum* выделено 7 соединений, относящихся к гидроксibenзойным кислотам и их эфирам (1–7). Методом газожидкостной хроматографии в хвоще полевым идентифицированы *n*-гидроксibenзойная (1), протокатеховая (2), ванилиновая (3), галловая кислоты (5) и метиловый эфир протокатеховой кислоты (4) [45, 54, 55]. Из хвоща речного выделена эллаговая кислота (7), которая описана для хвощей впервые [24]. Из фенолкислот в количественном отношении преобладают *n*-гидроксibenзойная, протокатеховая, *p*-кумаровая, тогда как ванилиновая, феруловая, кофейная присутствуют в малых количествах [24, 84]. Интерес к этой группе фенольных соединений объясняется широким спектром их биологического действия [25, 26, 66, 84].

**Гидроксикоричные кислоты и их эфиры.** Данная группа представлена 11 соединениями (8–18) [15, 22–29, 37, 38, 41, 54, 55, 66, 77, 84]. Выделены также сложные эфиры и гликозиды кофейной кислоты: хлорогеновая кислота (14), 5-кофеилшикимовая кислота (15), моно-*O*-(*E*)-кофеил-мезовинная кислота (16), цикориевая кислота (ди-*E*-кофеил-мезовинная кислота, 17) и 4- $\beta$ -*D*- глюкозид метилового эфира кофейной кислоты (11). Из *E. arvense* L. выделена калиевая соль 4-*O*- $\beta$ -*D*-глюкопиранозида *cis*-феруловой кислоты (эквизетумозид С, 18) [31].

**Фенолгликозиды.** Эквизетумозид А (19) и эквизетумозид В (20) выделены из водорастворимого экстракта полевого хвоща [31], эквизетумозид В, наряду с дебилитриолом (21) выделены из *E. debile* [67].

**Производные стирилпирона.** Обнаружены существенные различия в фенольных соединениях, накапливающихся в разных органах растений. В корневищах *E. arvense* флавоноиды отсутствуют, в них накапливаются стирилпироны [34–36]. Имеются сообщения о выделении и установлении химической структуры ряда стирилпиронов фенольной природы: эквизетумпирона [3,4-дигидрокси-6-(3',4'-дигидрокси-*E*-стирил)-2-пирон-3-*O*- $\beta$ -*D*-глюкопиранозид, 115] из стеблей, а также 3'-дезоксизэквизетумпирона [3,4-дигидрокси-6-(4'-гидрокси-*E*-стирил)-2-пирон-3-*O*- $\beta$ -*D*-глюкопиранозид, 116] и 4'-*O*-метилэквизетумпирона [3,4-дигидрокси-6-(3'-гидрокси-4'-метокси-*E*-стирил)-2-пирон-3-*O*- $\beta$ -*D*- глюкопиранозид, 117] и из корневищ *E. arvense* [22–24, 27]. Эквизетумпирон и 3-гидроксигиспидин-3,4'-ди-*O*-глюкозид (118) выделены из *E. Giganteum* [56].

**Фитостерины и brassinостероиды.** Из петролейно-эфирного экстракта надземной части *E. arvense* выделены 8 фитостеринов: холестерол (140), эпихолестанол (141), 24-метиленхолестерол (142), изофукостерол (143), кампестерол (144),  $\beta$ -ситостерол (145) 22-дигидробрассикастерин (146) и клионастерин (147) [26, 79, 80].

Браassinостероиды – фитогормоны класса стероидов, поддерживающие нормальное функционирование иммунной системы растения, особенно в неблагоприятных условиях, например, при пониженных температурах, заморозках, затоплении, засухе, болезнях, действии пестицидов, засолении почвы и др. Браassinостероиды – стрессовые адаптогены, обладающие сильной ростостимулирующей активностью. Содержатся в каждой растительной клетке в очень малом количестве. Из *E. arvense* выделены 4 соединения этого класса: норбрассенолид (148), долихостерон (149), норкастастерон (150) и кастастерон (151) [15, 81].

**Терпеноиды.** Этот обширный класс природных соединений в растениях рода *Equisetum* представлен моно-, сескви-, три- и дитерпеноидами. В составе эфирного масла *E. arvense* с использованием методов ГХ, ГХ/МС и <sup>13</sup>С-ЯМР обнаружены 25 соединений (99.64% от общего количества эфирного масла), относящиеся к монотерпеноидам [тимол (121), анетол (122), 1,8-цинеол (123), линалоол (124)], сесквитерпеноидам [ $\beta$ -кариофиллен (131), кариофиллен оксид (132),  $\alpha$ -копаен (128),  $\beta$ -бурбонен (129)], динорсесквитерпеноидам [*cis*-геранилацетон (134), *транс*- $\beta$ -ионон (138), *транс*- $\alpha$ -ионон (139) и *транс*- $\beta$ -дамасценон (136)], дитерпеноидам [*транс*-фитол (135), динордитерпеноидам [гексагидрофарнезилацетон (133), (*E,E*)-фарнезилацетон (137)], углеводородам и другим классам соединений [68].

Содержание эфирного масла в растениях рода *Equisetum*, и в частности, его обнаружение в хвоще полевым, нами подвергается сомнению. Оно основано на том, что в хвощах отсутствуют анатомические структуры в виде эндогенных и/или экзогенных секреторных образований, в которых, как известно, эфирное масло накапливается в растениях. Морфологическое и анатомическое строение хвощей, в которых до сих пор не было обнаружено подобных структур, хорошо изучено известным английским ботаником-специалистом по спорным Page С. N. (х. полевой, х. лесной, х. болотный, х. луговой, х. речной, х. раскидистый, х. береговой, х. зимующий), и подтверждается исследованиями других ученых L. Natherova с соавт. (х. полевой, х. лесной, х. болотный, х. луговой, х. речной, х. зимующий) [10, 69, 70], Н.Э. Коломиец с соавт. (х.

полевой, х. лесной, х. болотный, х. луговой, х. речной, х. камышковый, х. раскидистый, х. береговой, х. зимующий) [71] и М.Д. Решетниковой (хвощ полевой) [72].

**Тритерпеноиды.** К настоящему времени в *E. arvense* обнаружены тритерпеноиды изобоуренол (152), тараксерол (153), жерманикол (154),  $\alpha$ - и  $\beta$ -амирины (158, 159), урсоловая (155), бетулиновая (156) и олеаноловая (157) кислоты [37]. По литературным данным, в траве хвоща полевого содержится тритерпеновый сапонин эквизетонин (5%), структура которого пока не установлена [6, 26, 82].

**Азотсодержащие соединения и алкалоиды.** Из 7 видов растений рода *Equisetum* было выделено 17 азотсодержащих соединений: алкалоиды (98–106), нуклеиновые основания (уридин, инозин, 2'-дезоксидеоин, 2'-дезоксидеитидин, тимидин, 5-карбоксит-2'-дезоксидеитидин, 107-112) и незаменимая аминокислота триптофан (113) и 3-метоксипиридин (114) [26, 31, 62, 67, 86]. Палюстрин (99) является основным алкалоидом нескольких видов *Equisetum* [86]. В *E. palustre* обнаружены его N-формильное (100), N-ацетильное (101) и 8-дезоксипроизводные (102), а также палюстридиен (103) и N-формил палюстридиен (104) [62, 86]. N-Формилпалюстрин называется также палюстридином. Палюстрин содержит лактамное кольцо и в результате его щелочного расщепления образуется спермидин. Структура 18-дезоксипалюстрина (102) подтверждена осуществлением его синтеза [86]. Алкалоид эквизетумин (105), выделен из *E. debile* и предполагается, что этот алкалоид образуется в результате конденсации спермидина с  $\gamma$ -гидроксикаприловой кислотой [67]. *E. palustre* известен своей токсичностью для домашнего скота (ЛД<sub>50</sub> 50 мг/кг). Разработан метод количественного определения алкалоидов *Equisetum*, представляющий собой сочетание обычных и ВЭЖХ-ESI-MS/MS [62]. Двадцать два образца *E. palustre* были подвергнуты скринингу вышеуказанным методом и установлено наличие восьми алкалоидов во всех частях растения: палюстрина, N-формилпалюстрина, N-ацетилпалюстрина, 18-дезоксипалюстрина, палюстридиена, N-формилпалюстридиена и двух неидентифицированных алкалоидов. Предложена схема образования палюстрина путем сочетания  $\alpha$ -линоленовой кислоты и спермидина. Содержание алкалоидов варьирует в зависимости от органа растения, места его произрастания и периода вегетации от 88 до 597 мг/кг сухого веса [62].

**Производные инданона.** Впервые о нахождении фенольного производного ряда инданона – онитина (2,2,5,7-тетраметил-4-окси-6-(2'-оксиэтил)-инданона, 119) в хвоще полевым было сообщено А.И. Сырчиной в 1980-х годах прошлого века [45, 46, 78]. Впоследствии присутствие этого вещества также было подтверждено исследованиями корейских ученых, которые выделили онитин (119) и онитин-9-О-глюкозид (120) из метанольного экстракта хвоща полевого и экспериментально *in vitro* и для первого из них установлена гепатопротекторная и антирадикальная активность [22, 26, 74]. Обнаружение фенольного производного ряда инданона – онитина в хвоще лесном [29] представляет особый интерес в связи с тем, что фенольные инданоны на сегодняшний день – самая малочисленная группа из всех природных инданонов, большинство из которых обнаружены только в папоротниках – филогенетически древних представителях растительного мира. При этом многие инданоны обладают ценными биоактивными свойствами: бактерицидными, противовирусными, цитотоксическими, антикоагулянтными и другими [88].

**Органические кислоты.** Эти метаболиты представлены оксикислотами (164, 166, 167, 169, 170), насыщенными (168, 171–173) и ненасыщенными ди- и трикарбоновыми кислотами (162, 165), насыщенными оксидикарбоновыми кислотами (160, 163) и сложными эфирами (174, 175). Хвощ полевой содержит яблочную (160), шавелевую (161), аконитовую (162), винную (163), малоновую (168), фумаровую (165), хинную (169) и другие кислоты. Новая дикарбоновая кислота, названная эквизетоловой (171) также выделена из *E. arvense* [76].

Десять видов рода *Equisetum*, произрастающих в Чешской Республике, были проанализированы на содержание липидов [89]. Метод ГХ-МС использовали после для определения качественного и количественного содержания дикарбоновых кислот. Вместе с известными кислотами с четным числом атомов углерода (C<sub>22</sub>–C<sub>30</sub>) из *E. litorale* были идентифицированы две новые 14-метилнонакозандиоевая (172) и 14,15-диметилтриакозандиоевая (173) кислоты. Их структура подтверждена данными масс-спектрометрии и ЯМР-спектроскопии [89].

**Витамины.** Данная группа соединений, выделенных из двух видов растений рассматриваемого рода представлены аскорбиновой кислотой (176), тиамином (177), ниацином (178), рибофлавином (179) и витамином К (180) [12, 66, 75].

**Лигнаны.** Из растения *E. debile* Roxb выделены (+)-ларицирезинол 9-О-Glcp (181) и (+)-изоларицирезинол 3а-О-Glcp (182) [67].

*Углеводороды, спирты, альдегиды.* Список обнаруженных веществ и продуцируемых растений приведены в таблице (183–187). Высшие углеводороды, спирты, альдегиды и сложные эфиры входят в состав воскового слоя кутикулы растений, выполняющего функцию защиты от излишней потери влаги и проникновения вирусных частиц, бактериальных клеток, спор и гифов грибов. Восковой слой представляет собой смесь гидрофобных алифатических соединений с длинами цепочек в диапазоне от  $C_{16}$  до  $C_{36}$ . Проведено сравнительное изучение химических компонентов эпикутикулярного воска видов *Equisetum* подродов *Hippochaete* и *Equisetum* и установлено, что растения указанных подродов имеют отличающиеся восковые составы. В составе эпикутикулярного воска обнаружены алканы, сложные эфиры, альдегиды, первичные спирты и свободные жирные кислоты с числом атомов углерода  $C_{20}$ – $C_{36}$  (в сложных эфирах  $C_{36}$ – $C_{56}$ ). Представители подрода *Hippochaete* имели отчетливо отличающиеся восковые составы с высоким процентным содержанием алканов и альдегидов, тогда как растения подрода *Equisetum* показали довольно низкое содержание альдегидов в составе эпикутикулярного воска [90].

*Минеральные вещества. Соединения кремния.* Стебли содержат кремневую кислоту и силикаты (5–8%), кальций (1.3%), калий (1.8%) и другие минералы, такие как алюминий, сера, фосфор, натрий, цинк, магний и марганец [26, 66, 91–93]. В исследовании 10 видов рода *Equisetum L.*, произрастающих на территории Сибири, был изучен минеральный состав с использованием нейтронно-активационного (НАА) и рентгенофлуоресцентного (РФА) методов и установлено присутствие 38 химических элементов [93]. Общей тенденцией для всего рода является накопление *кальция, натрия, железа, цинка, кремния*. Также были выявлены существенные отличия по содержанию некоторых элементов между отдельными видами хвоща. Отличия заключаются в преобладании у видов подрода *Hippochaete* *никеля, кобальта, кремния и меди*. Для видов подрода *Equisetum* характерно накопление *цинка и марганца*, причем содержание марганца резко колеблется от 1.80 мг/кг в хвоще полевым до 30.1 мг/кг в хвоще лесном. Это связано с тем, что разные виды обладают способностью аккумулировать определенные химические элементы, произрастая даже в одинаковых экологических условиях. Выявлены элементы, которые наряду с фенольными соединениями можно рассматривать в качестве дополнительного хемотаксономического маркера для рода, подродов и отдельных видов. Определены виды, богатые кремнием, марганцем, железом, медью, цинком, которые в дальнейшем можно использовать для создания на основе их биологически активных комплексов препаратов для коррекции минерального баланса. Содержание тяжелых металлов, таких как свинец, мышьяк, кадмий, в хвощах не превышает предельно допустимые концентрации [14, 93].

О содержании кремния в хвощах известно еще с глубокой древности, их жесткие стебли использовали для полировки дерева и домашней посуды. В соответствии с данными литературы, наибольшее содержание кремния отмечено большинством авторов у представителя подрода *Hippochaete* *Milde*- хвоща зимующего (оксида кремния в золе от 70 до 96%). Виды подрода *Equisetum* *Sad.* накапливают этот элемент в меньших количествах (хвощ лесной и хвощ луговой 58%, хвощ полевой 40–76%) [14].

Содержание кремния в пересчете на неорганический  $SiO_2$  в растительных объектах традиционно определяют гравиметрическим, колориметрическим и спектральными методами анализа. Определение кремния в надземной части 10 видов рода хвощ флоры Сибири спектрофотометрическим и спектроскопическим методом показало, что виды подрода *Hippochaete* превосходят виды подрода *Equisetum* по содержанию кремния в 2–3 раза, что коррелирует со степенью жесткости стеблей видов подрода *Hippochaete* и напротив, мягкости для видов подрода *Equisetum* соответственно [14, 93].

Наименее исследованными являются органические соединения кремния. Так, в литературе имеются сведения об обнаружении в соке одного из видов хвоща кремния в виде сложного соединения, органическая часть которого состоит из конденсированных бензольных колец с короткими боковыми цепями [94–96].

Данные о выделении кремнийорганических соединений из растений довольно противоречивы. Так, А. Weiss, А. Herzog в 1978 году сообщили о выделении трис-( $\beta$ -гуйяплицин) кремниевого комплекса при добавлении к экстракту *Thyia plicata* калия гексофторофосфата. Несколько позже в 1984 году А. Peggs и Н. Wopen опубликовали статью, в которой заявили о том, что не нашли подтверждения существования кремнийорганических комплексов в *Thyia plicata* и *Equisetum arvense*. Эти же авторы сообщили о том, что кремниевые соединения в соке хвоща полевого представлены мономерной кремниевой кислотой, или ее очень лабильными производными, которые легко разрушаются [97].

В настоящее время для выделения и установления химического строения представленных в обзоре соединений фенольной природы широко используются многие виды тонкослойной и колоночной хроматографии на различных сорбентах, ВЭЖХ, а также современные физико-химические и спектроскопические методы исследования как ИК-, УФ-,  $^1\text{H}$ - и  $^{13}\text{C}$ -ЯМР-спектроскопия, в том числе методы двумерной ЯМР, масс-спектрометрия, ВЭЖХ и другие методы, которые практически вытеснили традиционные химические методы исследования [24, 56, 62, 63, 67, 73, 74, 84].

### ***Биологическая активность метаболитов растений рода *Equisetum****

Исследование химического состава флавоноидов *Equisetum L.* представляет большой интерес ученых в связи с наличием в нем соединений с высокой биологической активностью, имеющих значительный потенциал для медицинского использования. В литературе имеются сведения о применении хвощей при многих заболеваниях. При этом показано, что биологическая активность растений рода *Equisetum L.* связана с наличием полифенольного комплекса и соединений кремния [6, 14, 15, 22, 24–27, 29].

*Использование в народной медицине.* Следует отметить, что большинство хвощей на протяжении длительного времени успешно используются коренными народами для лечения различных заболеваний. Трава хвоща полевого используется в народной медицине Литвы при ревматизме, в Армении – при респираторных инфекциях, гипоксии, при асците. В тибетской и монгольской медицине применяют как диуретическое, при мочекаменной болезни, атеросклерозе, тонизирующее, способствующее долголетию, антигельминтное, в китайской медицине – при конъюнктивитах. Отвар и настой травы используют при лечении бронхиальной астмы, скарлатины, малярии, дизентерии, люмбаго, ишиаса, опухолей и гельминтозов. Имеются данные об использовании хвоща полевого при неврозах, хронической сердечной недостаточности, ревматоидных артритах, наружно при геморрое, миозите, нейродермите, варикозном расширении вен, фурункулезе, дерматитах, экземе. При заболеваниях полости рта, глотки и зубной боли применяется в качестве полосканий. В Болгарии отвар используют как гемостатическое при гематурии, кровохарканье, метrorрагии, при спазмофилии, общеукрепляющее при туберкулезе легких, бронхите, анемии, колитах, раке пищевода, неврастении, эпилепсии, костном туберкулезе, адиссоновой болезни, желчекаменной болезни, холецистите. Применяют также при ревматизме, подагре, артритах, остеомиелите, миокардите, наружно – при миоме матки, панариции, себорее, при катаракте, рините, стоматите [12, 13, 15, 22, 24–26].

Траву хвоща полевого используют в качестве диуретического, гемостатического, противосудорожного средства, при ревматизме, подагре, энтероколитах, гематурии, гонорее, туберкулезе легких, болезнях печени, почек, асците, эпилепсии [12, 15].

Для лечения заболеваний почек, мочевого пузыря, при мочекаменной болезни, полиартрите, подагре и других заболеваниях используют также траву хвоща речного, хвоща зимующего, хвоща болотного, хвоща лугового, хвоща большого и других видов [6, 15].

*Хвощ полевой в научной медицине.* При изучении фармакологической активности препаратов хвоща полевого установлено, что они оказывают мочегонное, кровоостанавливающее, противовоспалительное, отхаркивающее, дезинфицирующее, противогнилостное действие, повышают пролиферацию соединительной ткани, способствуют регенерации ткани (особенно при туберкулезе), стимулируют функцию коры надпочечников, оказывают общеукрепляющее действие [14, 15, 24]. Основным фармакологическим действием хвоща полевого является диуретическая активность, поэтому экстракты и препараты используются в качестве мочегонного средства, обладающего камне разрыхляющими и противовоспалительными свойствами. Их используют при отеках на фоне сердечной недостаточности, заболеваниях мочевого пузыря и мочевыводящих путей (пиелиты, циститы, уретриты), плевритах с большим количеством экссудата [6, 13, 15]. Кроме того, отвар хвоща полевого оказывает корригирующее действие на фосфорно-кальциевый обмен [22]. Внутри препараты хвоща полевого применяют в качестве мочегонного средства при отеках на почве недостаточного кровообращения, при плевритах с большим экссудатом, при воспалительных процессах мочевого пузыря и мочевыводящих путей [6], при отеках сердечного и почечного происхождения, при кровотечениях (носовые, маточные, геморроидальные, мочевыводящих путей), при туберкулезе, катаре верхних дыхательных путей, воспалении и поражениях слизистой оболочки рта и зева, при цистите, уретрите (препараты способствуют растворению и выведению камней из мочеточников), при отравлении свинцом, при атероскле-

розе, радикулите, артрите, подагре [6, 15, 24]. В настоящее время рядом европейских авторов [99, 100] диуретический эффект х. полевого ставится под сомнение, что подтверждается и нашими исследованиями [14, 24]. При этом на первый план выходит его назначение и применение по другим направлениям.

Настой также используют как кровоостанавливающее средство при геморроидальных и маточных кровотечениях и при некоторых формах туберкулеза, связанного с нарушением силикатного обмена. Наружно хвощ полевой применяется в виде полоскания при стоматите, тонзиллите; промывания при гайморите; примочки при трофических язвах на коже, экземе, лишае; протирания лица при жирной и пористой коже, в виде компрессов, ванн, мазей. Сок в практической медицине показан астеническим больным при хронических бронхитах, при бронхиальной астме, наружно – как ранозаживляющее и при алопеции [6].

*Экспериментальная фармакологическая активность других видов хвощей.* Экспериментальными и клиническими наблюдениями установлено, что экстракты и индивидуальные соединения, выделенные из различных видов хвощей, имеют широкий спектр биологической активности: диуретической [22, 25, 26, 66, 101–103], антиоксидантной [22, 25, 26, 66, 74, 77, 83, 84, 87, 104–106], антибактериальной [26, 66, 87, 103, 104, 107, 108], антигрибковой [109], противовоспалительной [22, 26, 66, 83], противоопухолевой [25, 26, 66, 83, 110–112], нейропротективной [25], гепатопротекторной [14, 24, 26, 74, 113], антимутагенной [114], гипогликемической [26, 66, 115], седативной и антиконвульсивной [66, 116], анксиолитической активностью. Работы [21–23] посвящены применению хвоща полевого для лечения остеопороза.

Изучение влияния однократного и длительного введения водных извлечений из 7 видов хвощей на функцию почек у крыс показало, что из 7 видов только хвощ зимующий (представитель подрода *Hippochaete*) и хвощ болотный (представитель подрода *Equisetum*) существенно увеличивают объем суточного диуреза и экскреторную функцию почек у крыс. При этом наибольшее увеличение диуреза, вызванное экстрактами хвоща болотного и хвоща зимующего, составляют 240% и 188% соответственно. Эти представители рода хвощ перспективны для дальнейшего углубленного фармакологического исследования в качестве диуретиков.

Экспериментально изучены противовоспалительные (антиэкссудативные) свойства водных и водно-спиртовых экстрактов 7 видов хвоща на модели острого агарового отека у мышей. Показано, что максимальный эффект, близкий к эффекту препарата сравнения, проявляется у хвоща полевого (представитель подрода *Equisetum*) и хвоща зимующего (представитель подрода *Hippochaete*).

Результаты исследования антибактериальных свойств различных видов хвоща *in vitro* показали, что более выраженный бактериостатический эффект проявляют виды подрода *Equisetum*, накапливающие преимущественно фенольный комплекс. Наиболее значительно подавляют активность кишечной палочки и клебсиеллы пневмонийной хвощ полевой, хвощ лесной, хвощ луговой, хвощ речной и хвощ болотный. В менее значимых концентрациях в отношении золотистого стафилококка и пневмонийной клебсиеллы бактериостатическое действие проявили виды подрода *Hippochaete*, при этом в отношении синегнойной палочки бактериостатическое действие проявляется только у хвоща зимующего, и не проявляется у остальных видов этого подрода [9, 77].

Оценка антигрибковых свойств представителей рода хвощ показала, что к числу перспективных фунгистатиков, задерживающих рост поверхностных дерматофитов в концентрациях 7.8–15.6 мкг/мл, относятся 2 вида: хвощ полевой и хвощ зимующий [108].

Для исследования гепатопротекторной активности при остром СС<sub>4</sub>-гепатите в качестве объектов использовали хвощ полевой и хвощ лесной, как представителей подрода *Equisetum*, содержащие наибольшее количество фенольных соединений, а также хвощ зимующий, как представителя другого подрода *Hippochaete*, богатого кремниевыми соединениями. Было показано, что экстракты хвоща полевого и х. лесного обладают выраженным гепатопротекторным действием. Экстракт хвоща зимующего практически не изменял биохимических показателей сыворотки крови и индикаторных ферментов, не влияя, таким образом, на экскреторную и антиоксидантную функцию печени, что позволило сделать предположение о нецелесообразности поиска гепатопротекторов среди видов подрода *Hippochaete* [14, 24, 112].

Учеными была проведена оценка антирадикальных свойств хвощей, которая показала, что наиболее выражены они у видов подрода *Equisetum*. При этом высокая антирадикальная способность хвоща лесного и хвоща полевого коррелирует с их гепатопротекторным действием и содержанием в них фенольных соединений [14].

Флавоноиды, выделенные из *Equisetum arvense*, *Equisetum sylvaticum*, обладают широким спектром биологического действия. Они имеют малую токсичность, поэтому являются перспективными в плане создания новых лечебных средств. Многочисленные исследования показали, что препараты, созданные на основе флавоноидов этих растений, являются высокоэффективными противоопухолевыми, противовоспалительными, антибактериальными, обладают антиоксидантными свойствами, снижают риск заболеваний сердечно-сосудистой системы. Они проявляют противовоспалительные, антигрибковые, диуретические и другие не менее целебные свойства.

Диуретический эффект выявлен у кверцетина, кемпферола, лютеолина и некоторых других флавоноидов. Большинство перечисленных веществ, по данным литературы, способны ослаблять воспалительные и аллергические реакции, усиливать процессы регенерации [1–4, 27, 51].

Хвощ лесной издавна применяется в народной медицине как мочегонное и вяжущее средство [8, 14, 15, 29]. Значимость фенольных соединений хвоща лесного подтверждена экспериментальным изучением. Они обладают антимикробными, диуретическими, гепатопротекторными, противовоспалительными и антирадикальными свойствами [8, 9, 15, 29].

### Заключение

Приведенные в данной статье сведения демонстрируют, что растения рода *Equisetum* содержат богатый комплекс биологически активных веществ, специфичный как внутри каждого из подродов, так и для отдельных видов хвощей. На сегодняшний день наиболее изученным классом являются фенольные соединения, прежде всего флавоноиды и фенолкарбоновые кислоты, а к числу наиболее изученных видов следует отнести *Equisetum arvense* и *Equisetum sylvaticum*. Результаты изучения фармакологической активности экстракционных препаратов и некоторых индивидуальных соединений различных видов хвощей показывают перспективность их дальнейшего изучения по ряду направлений, а также использования для создания на их основе лекарственных средств, парафармацевтических продуктов.

### Список литературы

1. Хвощ [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хвощ>
2. Чиков П.С., Абдухамидов Н.А., Адодина Н.М., Алимбаева П.К. и др. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. М., 1983. 320 с.
3. Кашина Л.И., Красноборов И.М., Шауло Д.Н. Флора Сибири Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae. Новосибирск, 1988. С. 42–47
4. Коломиец Н.Э. Растения рода хвощ // Фармация. 2006. №3. С. 46–48.
5. Куркин В.А., Бекишева Е.В., Куркина Т.В. Этимология названий лекарственных растений. М., 2000. 44 с.
6. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара, 2007. С. 827–832.
7. Walkowiak R. A Taxonomic Study of the Genus *Equisetum* (Horsetail) // IEA PAPER. 2011. DOI: 10.13140/RG.2.2.21694.18249
8. Скворцов В.Э. Род *Equisetum* L. в российской и мировой флоре: биоморфология, изменчивость, таксономия: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2008. 22 с.
9. Hauke R.L. Equisetopsida // Flora Mesoamericana. México, 1995. Vol. 1. Pp. 4–5.
10. Page C.N. The ferns of Britain and Ireland. 2nd ed., 1997. 567 p.
11. Page C.N. *Equisetum* subgenus *Equisetum* in the sino-himalayan region – a preliminary taxonomic and evolutionary appraisal // Fern Gazette. 1974. Vol. 11. N1. Pp. 25–47.
12. Гончарова Т.А. Энциклопедия лекарственных растений. Лечение травами. М., 2004. Т. 1. С. 88–90.
13. Кукес В.Г. Фитотерапия с основами клинической фармакологии. М.: Медицина, 1999. С. 73.
14. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И. Растения рода Хвощ (*Equisetum* L.). Систематика, химический состав, перспективы использования в медицине. Томск, 2009. 88 с.
15. Растительные ресурсы России и сопредельных государств. Часть 1. Семейства Lycopodiaceae – Ephemerales. СПб., 1996. С. 12–15.
16. Государственная фармакопея Российской Федерации. 14-е изд. М., 2018. Т. 4. 7019 с.
17. European Pharmacopoeia 6th Edition, 2007. 4392 p.
18. British Pharmacopoeia. British Herbal Pharmacopoeia. BHMA. Bournemouth, 2004.
19. EMA Assessment report on *Equisetum arvense* L., herba, 2016. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-equisetum-arvense-l-herba\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-equisetum-arvense-l-herba_en.pdf)
20. Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс]. URL: <https://grls.rosminzdrav.ru/grls.aspx>
21. Corletto F. Female climacteric osteoporosis therapy with titrated horsetail (*E. arvense*) extract plus calcium (Osteosil calcium): randomised double blind study // Miner. Osteoped Traumatol. 1999. Vol. 50. Pp. 201–206.

22. Badole S., Kotwal S. Equisetum arvense: Ethnopharmacological and Phytochemical review with reference to osteoporosis // Int. J. Pharm. Sci. and Health Care. 2014. Vol. 1. N4. Pp. 131–141.
23. Kotwal S.D., Badole S.R. Anabolic therapy with Equisetum arvense along with bone mineralising nutrients in ovariectomized rat model of osteoporosis // Indian J. Pharmacol. 2016. Vol. 48. N3. Pp. 312–315.
24. Коломиец Н.Э. Фармакогностическое исследование рода Equisetum L. флоры Сибири как источника лекарственных средств: автореф. дисс. ... доктора фарм. наук. Москва, 2010. 42 с.
25. Asgarpanah J., Roohi E. Phytochemistry and pharmacological properties of Equisetum arvense L. // J. Med. Plants Res. 2012. Vol. 6. N21. Pp. 3689–3693. DOI: 10.5897/JMPR12.234
26. Sandhu N.S., Kaur S., Chopra D. Equisetum arvense: Pharmacology and Phytochemistry – A review // Asian J. Pharm. Clin. Res. 2010. Vol. 3. N3. Pp. 146–150.
27. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И. Сравнительное исследование химического состава видов рода хвощ флоры Сибири // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 149–154.
28. Бондарчук Р.А., Коломиец, Н.Э. Исследование фенольных соединений хвоща лесного Equisetum sylvaticum L. // Бюллетень сибирской медицины. 2011. №5. С. 25–29.
29. Бондарчук Р.А. Фармакогностическое исследование хвоща лесного как перспективного источника биологически активных соединений: автореферат дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2013. 24 с.
30. Suzuki K., Homma T. Isolation, and chemical structure of flavonoids from horsetail (Equisetum arvense L.) // J. Adv. Sci. 1997. Vol. 9. N1–2. Pp. 104–105. DOI: 10.2978/jsas.9.104
31. Chang J., Xuan L., Xu Y. Three new phenolic glycosides from fertile sprout of Equisetum arvense // Zhiwu Xuebao. 2001. Vol. 43. N2. Pp. 193–197.
32. Veit M., Geiger H., Czygan F.C., Markham K.R. Malonylated flavones 5-O-glucosides in the barren sprouts of Equisetum arvense // Phytochemistry. 1990. Vol. 29. N8. Pp. 2555–2560. DOI: 10.1016/0031-9422(90)85187-K.
33. Pietta P., Mauri P., Bruno A., Rava A., Manera E., Ceva P. Identification of flavonoids from Ginkgo biloba L., Anthemis nobilis L and Equisetum arvense L. by high performance liquid chromatography with diode-array UV detection // J. Chromatogr. 1991. Vol. 553. N1-2. Pp. 223–231. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)88492-2.
34. Veit M., Geiger H., Wray V., Abou-Mandour A., Rozdzinski W., Witte L., Strack D., Czygan F.C. Equisetum pyrone, a styrylpyrone glucoside in gametophytes from Equisetum arvense // Phytochem. 1993. Vol. 32. N4. Pp. 1029–1032.
35. Veit M., Geiger H., Kast B., Beckert C., Horn C., Kenneth R., Wong H. Styrylpyrone glucosides from Equisetum // Phytochemistry. 1995. Vol. 39. N4. Pp. 915–917. DOI: 10.1016/0031-9422(95)00941-Y.
36. Beckert C., Horn C., Schnitzler J.P., Lehning A., Heller W., Veit M. Styrylpyrone biosynthesis in Equisetum arvense // Phytochemistry. 1997. Vol. 44. N2. Pp. 275–283. DOI: 10.1016/S0031-9422(96)00543-2.
37. Veit M., Strack D., Czygan F.C., Wray V., Witt L. Di-E-caffeoyl-mesotartaric acid in the barren sprouts of Equisetum arvense // Phytochemistry. 1991. Vol. 30. N2. Pp. 527–529.
38. Veit M., Abou-Mandour A.A., Czygan F.C. Phenolics from gametophytes of Equisetum arvense // Planta Med Suppl. 1991. Vol. 2. 57: A36.
39. Veit M., Beckert C., Hohne C., Bauer K., Geiger H. Interspecific and intraspecific variation of phenolics in the genus Equisetum subgenus Equisetum // Phytochemistry. 1995. Vol. 38. Pp. 881–891. DOI: 10.1016/0031-9422(94)00658-G.
40. Veit M., Weidner C., Strack D., Wray V., Witte L., Czygan F.C. The distribution of caffeic acid conjugates in the Equisetaceae and some ferns // Phytochemistry. 1992. Vol. 31. Pp. 3483–3485.
41. Hohlfeld M., Veit M., Strack D. Hydroxycinnamoyltransferases Involved in the Accumulation of Caffeic Acid Esters in Gametophytes and Sporophytes of Equisetum arvense // Plant Physiol. 1996. Vol. 111. N4. Pp. 1153–1159. DOI: 10.1104/pp.111.4.1153.
42. Saleh N.A.M., Majak W., Towers G.H.N. Flavonoids of Equisetum species // Phytochemistry. 1972. Vol. 11. N3. Pp. 1095–1099.
43. Saleh N.A.M. Glycosidic nature of Equisetum flavonoids // Phytochemistry. 1975. Vol. 14. N1. Pp. 286–287.
44. Saleh N.A.M., Abdalla M.F. The flavonoids of Equisetum ramosissimum // Phytochemistry. 1980. Vol. 19. N5. P. 987.
45. Сырчина А.И. Химическое исследование фенольных соединений хвоща полевого (Equisetum arvense L.): автореф. дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, 1981. 26 с.
46. Сырчина А.И., Горохова В.Г., Тюкавкина Н.А., Бабкин В.А., Воронков М.Г. Флавоноидные гликозиды споросных стеблей Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1980. №3. С. 334–337.
47. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Флавоноиды Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1973. №5. С. 671–672.
48. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Некоторые гликозиды флавонолов Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1974. №6. С. 794–795.
49. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Нарингенин, дигидрокемпферол, дигидрокверцетин из Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1975. №3. С. 424–425.
50. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Флавоны Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1978. №6. С. 807–808.
51. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Апигенин-5-глюкозид из Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1974. №5. С. 666–667.
52. Сырчина А.И., Запесочная Г.Г., Тюкавкина Н.А. Воронков М.Г. 5-Глюкозиды флавонов Equisetum arvense // Химия природных соединений. 1980. №3. С. 413–414.



53. Сырчина А.И., Запесочная Г.Г., Тюкавкина Н.А. Воронков М.Г. 6-Хлорапигенин из *Equisetum arvense* // Химия природных соединений. 1980. №4. С. 499–501.
54. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Фенолокислоты *Equisetum arvense* // Химия природных соединений. 1975. №3. С. 416.
55. Сырчина А.И., Воронков М.Г., Тюкавкина Н.А. Фенолокислоты и флавоноиды спороносных стеблей *Equisetum arvense* // Химия природных соединений. 1978. №8. С. 803–804.
56. Francescato L.N., Debenedetti S.L., Schwanz T.G., Bassani V.L., Henriques A.T. Identification of phenolic compounds in *Equisetum giganteum* by LC–ESI-MS/MS and a new approach to total flavonoid quantification // *Talanta*. 2013. Vol. 105. Pp. 192–203. DOI: 10.1016/j.talanta.2012.11.072
57. Боначева В.М., Ботиров Э.Х. Гликозиды флавоноидов *Equisetum silvaticum* L. Ханты-Мансийского автономного округа // Химия растительного сырья. 2013. №1. С. 171–174. DOI: 10.14258/jcrpm.1301171
58. Bonacheva V.M., Botirov E.Kh. Kaempferol and Its Glycosides from *Equisetum silvaticum* L. from the Khanty-Mansi Autonomous Area // *Rus. J. Bioorg. Chem.* 2014. Vol. 40. N7. Pp. 769–772. DOI: 10.1134/S1068162014070048
59. Боначева В.М., Ботиров Э.Х., Дренин А.А. Флавоноиды *Equisetum arvense* L и *Lathyrus pratensis* L. // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 195–199. DOI: 10.14258/jcrpm.1403195
60. Боначева В.М. Флавоноиды и фталаты *Equisetum arvense* L., *Equisetum sylvaticum* L. и *Pseudosiphora aloppecuroides* L.: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2016. 18 с.
61. Wiedemfeld H.A., Andrade Cetto A.B., Amador C.P. Flavonol glycosides from *Equisetum myriochaetum* // *Biochem. System. and Ecol.* 2000. Vol. 28. Pp. 395–397. DOI: 10.1016/S0305-1978(99)00074-5.
62. Cramer L., Ernst L., Lubienski M., Papke U., Schiebel H.M., Jerz G., Beuerle T. Structural and quantitative analysis of *Equisetum* alkaloids // *Phytochemistry*. 2015. Vol. 116. Pp. 269–282. DOI: 10.1016/j.phytochem.2015.03.003.
63. Tipke I., Bucker L., Middelstaedt J., Winterhalter P., Lubienski M., Beuerle T. HILIC HPLC-ESI-MS/MS identification and quantification of the alkaloids from the genus *Equisetum* // *Phytochem. Anal.* 2019. Vol. 30. N6. Pp. 669–678. DOI: 10.1002/pca.2840.
64. Geiger H., Lang U., Britsch E., Mabry T.J., Suhr-Schiicker U., Velde G.V., Waldrum H. Die flavonolglykoside von *Equisetum telmateja* // *Phytochemistry*. 1978. Vol. 17. N2. Pp. 336–337.
65. Fahmi Aly H., Geiger H., Schucker U., Waldrum H., Vander Velde G., Mabry T.J. Die flavonolglykoside von *Equisetum sylvaticum* // *Phytochemistry*. 1975. Vol. 14. N7. Pp. 1613–1615.
66. Al-Snafi A.E. The pharmacology of *Equisetum arvense*. A review // *IOSR Journal of Pharmacy*. 2017. Vol. 7. N2. Pp. 31–42. DOI: 10.9790/3013-0702013142.
67. Tan J.M., Qiu Y.H., Tan X.Q., Tan C.H., Xiao K. Chemical constituents of *Equisetum debile* // *Journal of Asian Natural Products Research*. 2011. Vol. 13. N9. Pp. 811–816. DOI: 10.1080/10286020.2011.596829.
68. Radulović N., Stojanović G., Palić R. Composition and Antimicrobial Activity of *Equisetum arvense* L. Essential Oil. // *Phyther. Res.* 2006. Vol. 20. Pp. 85–88. DOI: 10.1002/ptr.1815.
69. Hayek M. *Encyclopedia of Medicinal Plants*. Librairie du Liban, Beyrouth, 1997. 255 p.
70. Natherova L., Kresanek J., Janasova Z. Anatomical study of the domestic species of genus *Equisetum* L. // *Cesk. Farm.* 1977. Vol. 26. N5. Pp. 206–211.
71. Коломиец Н.Э., Сапронова Н.Н., Калинкина Г.И., Дмитрук С.Е. Анатомическое строение растений рода Хвощ // *Фармация*. 2006. №1. С. 19–21.
72. Решетникова М.Д. Фармакогностическое изучение хвоща полевого: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Уфа, 1993. 17 с.
73. Kolomiets N.E., Yusubov M.S., Kalinkina G.I. Flavonoid composition of *Equisetum arvense* and *E. x litorale* studied by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry // *Chemistry of Natural Compounds*. 2012. Vol. 48. N1. Pp. 135–136. DOI: 10.1007/s10600-012-0181-9.
74. Oh H., Kim D.H., Cho J.H., Kim Y.C. Hepatoprotective and free radical scavenging activities of phenolic petrosins and flavonoids isolated from *Equisetum arvense* // *J. Ethnopharmacol.* 2004. Vol. 95. Pp. 421–424. DOI: 10.1016/j.jep.2004.08.015.
75. AbdElIslam N.M., Ullah R., Waseem M., Hussain I., Ahmad Sh. Evaluation of the Chemical Composition of *Equisetum ravens* // *Life Science Journal*. 2013. Vol. 10. N7. Pp. 966–968.
76. WHO monographs on medicinal plants commonly used in the Newly Independent States (NIS). World Health Organization. 2010. Pp. 113–126.
77. Mimica-Dukic N., Simin N., Cvejic J., Jovin E., Orcic D., Bozin B. Phenolic Compounds in Field Horsetail (*Equisetum arvense* L.) as Natural Antioxidants // *Molecules*. 2008. Vol. 13. Pp. 1455–1464. DOI: 10.3390/molecules13071455.
78. Syrchina A.I., Gorenysheva O.N., Semenov A.A., Biyushkin V.N., Malinovskii T.I. Isolation of an indanone from *Equisetum arvense* and its crystal and molecular structure // *Chemistry of Natural Compounds*. 1978. Vol. 14. N4. Pp. 432–436. DOI: 10.1007/BF00565253.
79. Ganeva Y., Chaney C., Dentchev T. Triterpenoids and sterols from *Equisetum arvense* // *Dokladi na Bulgarskata Akademiya na Naukite*. 2001. Vol. 54. Pp. 53–56.
80. Takatsuto S., Abe H. Sterol composition of Strobilus of *Equisetum arvense* L. // *Biosci. Biotech. Biochem.* 1992. Vol. 56. Pp. 834–835. DOI: 10.1271/bbb.56.834.
81. Takatsuto S., Abe H., Gamoh K. Evidence for Brassinosteroids in Strobilus of *Equisetum arvense* L. // *Agric. Bioi. Chem.* 1990. Vol. 54. Pp. 1057–1059. DOI: 10.1080/00021369.1990.10870042.

82. European Medicines Agency; Community herbal monograph on *Equisetum arvense* L. HERBA., Doc. Ref. EMEA/HMPC/394895/2007. 2008.
83. Jabeur I., Martins N., Barros L., Calhella R.C., Vaz J., Achour L., Santos-Buelga C., Ferreira I.C. Contribution of the phenolic composition to the antioxidant, anti-inflammatory and antitumor potential of *Equisetum giganteum* L. and *Tilia platyphyllos* Scop. // *Food Funct.* 2017. Vol. 8. N3. Pp. 975–984. DOI: 10.1039/c6fo01778a.
84. Pallag A., Jurca T., Pasca B., Sirbu V., Honges A., Costuleanu M. Analysis of Phenolic Compounds Composition by HPLC and Assessment of Antioxidant Capacity in *Equisetum arvense* L. Extracts // *Rev. Chim. (Bucharest)*. 2016. Vol. 67. N8. Pp. 1623–1627.
85. Qureshi M.N., Stecher G., Bonn G.K. Quantification of polyphenolic compounds and flavonoids in *Achillea millefolium* and *Equisetum arvense* // *Pak. J. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 29. N5. Pp. 1519–1523.
86. The Palustrines // *The Alkaloids*, ed. A. Brossi. New York: Academic Press, 1983. Vol. XXII. Pp. 109–111.
87. Milovanovic V., Radulovic N., Todorovic Z., Stankovic M., Stojanovic G. Antioxidant, antimicrobial and genotoxicity screening of hydroalcoholic extracts of five Serbian equisetum species // *Plant Food Hum Nutr.* 2007. Vol. 62. N3. Pp. 113–119. DOI: 10.1007/s11130-007-0050-z.
88. Patil S.A., Patil R., Patil S.A. Recent developments in biological activities of indanones // *Eur. J. Med. Chem.* 2017. Vol. 138. Pp.182–198. DOI: 10.1016/j.ejmech.2017.06.032.
89. Rezanka T. Branched and very long-chain dicarboxylic acids from *Equisetum* species // *Phytochemistry*. 1998. Vol. 47. N8. Pp. 1539–1543. DOI: 10.1016/S0031-9422(97)00774-7.
90. Brune T., Haas K. *Equisetum* species show uniform epicuticular wax structures but diverse composition patterns // *AoB PLANTS*. 2011. plr009. DOI: 10.1093/aobpla/plr009.
91. Carnet A., Petitjean-Freytet C., Muller D., Lamaison J.L. Content of major constituents of horsetails, *Equisetum arvense* L. // *Plants Med. Phytother.* 1991. Vol. 25. Pp. 32–38.
92. Sola-Rabada A., Rinck J., Belton D.J., Powell A.K., Perry C.C. Isolation of a wide range of minerals from a thermally treated plant: *Equisetum arvense*, a Mare's tale // *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2016. Vol. 21. N1. Pp. 101–112. DOI: 10.1007/s00775-015-1320-0.
93. Коломиец Н.Э., Агеева Л.Д., Абрамец Н.Ю. Элементный состав видов рода *Equisetum* L. // *Фундаментальные исследования*. 2014. №8. С. 1418–1421.
94. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. Новосибирск: Наука, 1984. 157 с.
95. Valtchev V., Smaïhi M., Faust A.C., Vidal L. Biomineral-silica-induced zeolitization of *Equisetum arvense* // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2003. Vol. 42. N24. Pp. 2782–2785. DOI: 10.1002/anie.200351175.
96. Holzhueter G., Narayanan K., Gerber T. Structure of silica in *Equisetum arvense* // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. Vol. 376. N4. Pp. 512–517. DOI: 10.1007/s00216-003-1905-2.
97. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И. Количественное определение кремния в хвощах // *Фармация*. 2009. №3. С. 13–15.
98. Weiss R.F. *Herbal Medicine*. Gothenburg, Sweden: AB Arcanum, 1998. Pp. 238–239.
99. Carneiro D.M., Jardim T.V., Araújo Y.C.L., Arantes A.C., Sousa A.C. et al. *Equisetum arvense*: New Evidences Supports Medical use in Daily Clinic // *Pharmacog. Rev.* 2019. Vol. 13. N26. Pp. 50–58. DOI: 10.5530/phrev.2019.2.4.
100. Carneiro D.M., Freire R.C., Honório T.C., Zoghaib I., Cardoso F.F., Tresvenzol L.M. Randomized, doubleblind clinical trial to assess the acute diuretic effect of *Equisetum arvense* (field horsetail) in healthy volunteers // *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*. 2014. Vol. 10. 760683. DOI: 10.1155/2014/760683.
101. Lemus I., Garcia R., Erazo S., Pena R., Parada M., Fuenzalida M. Diuretic activity of an *Equisetum bogotense* tea (Platero herb): evaluation in healthy volunteers // *J. Ethnopharmacol.* 1996. Vol. 54. N1. Pp. 55–58. DOI: 10.1016/0378-8741(96)01444-4.
102. Wright C.I., Van-Buren L., Kroner C.I., Koning M.M.G. Herbal medicines as diuretics: A review of the scientific evidence // *J. Ethnopharmacol.* 2007. Vol. 114. N1. Pp. 1–31. DOI: 10.1016/j.jep.2007.07.023.
103. Canadanovic-Brunet J.M., Cetkovic G.S., Djilas S.M., Tumbas V.T., Savatovic S.S., Mandic A.I. Radical scavenging and antimicrobial activity of horsetail (*Equisetum arvense* L.) extracts // *International Journal of Food Science & Technology*. 2009. Vol. 44. N2. Pp. 269–278. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01680.x.
104. Stajner D., Popović B.M., Canadanović-Brunet J., Boza P. Free radical scavenging activity of three *Equisetum* species from Fruska gora mountain // *Fitoterapia*. 2006. Vol. 77. N7-8. Pp. 601–604. DOI: 10.1016/j.fitote.2006.06.006.
105. Marin D.B., Cioanca O., Apostu M., Tuchilus C.G., Mircea C., Robu S., Tutunaru D., Corciova A., Hancianu M. The Comparative Study of *Equisetum pratense*, *E. Sylvaticum*, *E. Telmateia*: Accumulation of silicon, antioxidant and antimicrobial screening // *Revista de Chimie*. 2019. Vol. 70. N7. Pp. 2519–2523. DOI: 10.37358/rc.19.7.7372.
106. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И. Антибактериальные свойства хвощей // *Фармация*. 2007. №5. С. 38–39.
107. Dos Santos Alves C.F., Bonez P.C., De Souza Ebling M., Casagrande C., Freitas L., Dolwitsch C., Pires F., Sargrillo M.R., De Brum G.F., De Campos M.M.A., Santos R.C.V. Antimicrobial, cyto and genotoxic activities of *Equisetum hyemale* // *Pharmacognosy Journal*. 2019. Vol. 11. N6. Pp. 1563–1571. DOI: 10.5530/PJ.2019.11.239.
108. Коломиец Н.Э., Дмитриук С.Е., Калинкина Г.И. Антигрибковые свойства хвощей флоры Сибири // *Фармация*. 2007. №4. С. 36–40.
109. Goun E.A., Petrichenko V.M., Solodnikov S.U., Suhinina T.V., Kline M.A., Cunningham G., Nguyen C., Miles H. Anticancer and antithrombin activity of Russian plants // *J. Ethnopharmacol.* 2002. Vol. 81. N3. Pp. 337–342. DOI: 10.1016/s0378-8741(02)00116-2.

110. Li P., Chiu Y., Shih C., Wen Z., Ibetto L., Huang S., Chiu C., Ma D., Leung C., Chang Y., Wang H. Biofunctional activities of *Equisetum ramosissimum* extract: Protective effects against oxidation, melanoma, and melanogenesis // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016. 2853543. DOI: 10.1155/2016/2853543
111. Haider B., Al-Badri H.B., Al-Ani W.M.K., Naser A-M.A.G. Cytotoxicity study of *Equisetum arvense* of Iraq. // *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 5. N1. Pp.149–155.
112. Коломиец Н.Э., Шейкин В.В., Ратькин А.В., Бондарчук Р.А. Гепатопротекторные свойства хвощей // *Фармация*. 2011. №7. С. 15–16.
113. Коломиец Н.Э., Ефимов С.Н. Антимутагенные свойства растений рода хвощ // *Фармация*. 2005. №5. С. 31–32.
114. Revilla M.C., Andrade-Cetto A., Islas S., Wiedenfeld H. Hypoglycemic effect of *Equisetum myriochaetum* aerial parts on type 2 diabetic patients // *J. Ethnopharmacol.* 2002. Vol. 81. N1. Pp. 117–120. DOI: 10.1016/s0378-8741(02)00053-3.
115. Dos Santos J.G.Jr., Blanco M.M., Do Monte F.H., Russi M., Lanzotti V.M., Leal L.K. Sedative and anticonvulsant effects of hydroalcoholic extract of *Equisetum arvense* // *Fitoterapia*. 2005. Vol. 76. N6. Pp. 508–513. DOI: 10.1016/j.fitote.2005.04.017.
116. Singh N., Kaur S., Bedi P.M., Kaur D. Anxiolytic effects of *Equisetum arvense* Linn. extracts in mice // *Indian Journal of Experimental Biology*. 2011. Vol. 49. N5. Pp. 352–356.

Поступила в редакцию 14 мая 2020 г.

После переработки 3 октября 2020 г.

Принята к публикации 7 октября 2020 г.

**Для цитирования:** Ботиров Э.Х., Боначева В.М., Коломиец Н.Э. Химический состав и биологическая активность метаболитов растений рода *Equisetum* L. // *Химия растительного сырья*. 2021. №1. С. 5–26. DOI: 10.14258/jcrpm.2021017760.

*Botirov E.Kh.*<sup>1\*</sup>, *Bonacheva V.M.*<sup>1</sup>, *Kolomiets N.E.*<sup>2</sup> CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF METABOLITES OF THE GENUS EQUISETUM

<sup>1</sup> Surgut State University, ul. Lenina, 1, Surgut, 628412 (Russia), e-mail: botirov-nepi@mail.ru

<sup>2</sup> Siberian State Medical University, Moscovsky tract, 2, Tomsk, 634050 (Russia)

The review summarizes the scientific literature on the degree of knowledge of the chemical composition and biological activity of metabolites and plant extracts of the genus *Equisetum* L. of the world flora. Many types of horsetail are widely used in folk medicine as a diuretic, hemostatic, as well as for pulmonary tuberculosis and skin diseases, ulcers, dropsy, jaundice, as a heart remedy, for diseases of the kidneys, bladder, etc. Based on extracts of the horsetail canes (*Equisetum arvense* L.) a number of drugs and biologically active additives with a wide spectrum of pharmacological action have been created. The review presents data on the structural diversity and biological activity of metabolites of plants of the genus *Equisetum* L. Information is provided on the composition of the metabolites of 16 species of the genus *Equisetum* L., the structure and sources of more than 200 natural substances related to terpenoids, phytosterols, brassinosteroids, vitamins, alkaloids and other nitrogen-containing compounds, lignans, styryl pyrones, indanones, phenylpropanoids, organic acids, hydrocarbons, aldehydes and phenolic compounds. The main biologically active substances of plants of the genus *Equisetum* are flavonoids and other plant phenolic compounds. Extracts and individual compounds possess antioxidant, diuretic, antibacterial, antifungal, hepatoprotective, hypoglycemic, antimutagenic, sedative, anxiolytic, anti-tumor, anti-inflammatory properties. An analysis of literature data shows that plants of the genus *Equisetum* are promising for the creation of new effective drugs. The information presented in the review can be used as reference literature by phytochemists, biologists, and pharmacologists, as well as to solve the problems of chemosystematics of plants of the genus *Equisetum* L.

**Keywords:** *Equisetum* L., *Equisetaceae*, chemical composition of metabolites, structural diversity, biological activity.

\* Corresponding author.

## References

1. *Khvosht* [Horsetail]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хвощ>. (in Russ.).
2. Chikov P.S., Abdukhamidov N.A., Adodina N.M., Alimbayeva P.K. i dr. *Atlas arealov i resursov lekarstvennykh rasteniy SSSR*. [Atlas of areas and resources of medicinal plants in the USSR]. Moscow, 1983, 320 p. (in Russ.).
3. Kashina L.I., Krasnoborov I.M., Shaulo D.N. *Flora Sibiri Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae*. [Flora of Siberia Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae]. Novosibirsk, 1988, pp. 42–47. (in Russ.).
4. Kolomiets N.E. *Farmatsiya*, 2006, no. 3, pp. 46–48. (in Russ.).
5. Kurkin V.A., Bekisheva Ye.V., Kurkina T.V. *Etimologiya nazvaniy lekarstvennykh rasteniy*. [Etymology of the names of medicinal plants]. Moscow, 2000, 44 p. (in Russ.).
6. Kurkin V.A. *Farmakognosiya*. [Pharmacognosy]. Samara, 2007, pp. 827–832. (in Russ.).
7. Walkowiak R. *IEA PAPER*, 2011. DOI: 10.13140/RG.2.2.21694.18249.
8. Skvortsov V.E. *Rod Equisetum L. v rossiyskoy i mirovoy flore: biomorfologiya, izmenchivost', taksonomiya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [Genus Equisetum L. in the Russian and world flora: biomorphology, variability, taxonomy: author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Moscow, 2008, 22 p. (in Russ.).
9. Hauke R.L. *Flora Mesoamericana*. México, 1995, vol. 1, pp. 4–5.
10. Page C.N. *The ferns of Britain and Ireland. 2nd ed.*, 1997, 567 p.
11. Page C.N. *Fern Gazette*, 1974, vol. 11, no. 1, pp. 25–47.
12. Goncharova T.A. *Entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy. Lecheniye travami*. [Encyclopedia of Medicinal Plants. Herbal treatment]. Moscow, 2004, vol. 1, pp. 88–90. (in Russ.).
13. Kukes V.G. *Fitoterapiya s osnovami klinicheskoy farmakologii*. [Phytotherapy with the basics of clinical pharmacology]. Moscow, 1999, p. 73. (in Russ.).
14. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Rasteniya roda Khvoshch (Equisetum L.). Sistematika, khimicheskiy sostav, perspektivy ispol'zovaniya v meditsine*. [Plants of the genus Horsetail (Equisetum L.). Taxonomy, chemical composition, prospects for use in medicine]. Tomsk, 2009, 88 p. (in Russ.).
15. *Rastitel'nyye resursy Rossii i sopredel'nykh gosudarstv. Chast' 1. Semeystva Lycopodiaceae – Ephedraceae*. [Plant resources of Russia and neighboring states. Part 1. Families Lycopodiaceae – Ephedraceae]. St.-Petersburg, 1996, pp. 12–15. (in Russ.).
16. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. 14-ye izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. 14th ed.]. Moscow, 2018, vol. 4, 7019 p. (in Russ.).
17. *European Pharmacopoeia 6th Edition*, 2007, 4392 p.
18. *British Pharmacopoeia. British Herbal Pharmacopoeia. BHMA*. Bournemouth, 2004.
19. *EMA Assessment report on Equisetum arvense L., herba*, 2016. URL: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-equisetum-arvense-l-herba\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-equisetum-arvense-l-herba_en.pdf)
20. Gosudarstvennyy reyestr lekarstvennykh sredstv [State register of medicines]. URL: <https://grls.rosminzdrav.ru/grls.aspx>. (in Russ.).
21. Corletto F. *Miner. Ostoped Traumatol.*, 1999, vol. 50, pp. 201–206.
22. Badole S., Kotwal S. *Int. J. Pharm. Sci. and Health Care*, 2014, vol. 1, no. 4, pp. 131–141.
23. Kotwal S.D., Badole S.R. *Indian J. Pharmacol.*, 2016, vol. 48, no. 3, pp. 312–315.
24. Kolomiets N.E. *Farmakognosticheskoye issledovaniye roda Equisetum L. flory Sibiri kak istochnika lekarstvennykh sredstv: avtoref. diss. ... doktora farm. nauk*. [Pharmacognostic study of the genus Equisetum L. Siberian flora as a source of medicines. Author's abstract. diss. ... doctor farm. sciences]. Moscow, 2010, 42 p. (in Russ.).
25. Asgarpanah J., Roohi E. *J. Med. Plants Res.*, 2012, vol. 6, no. 21, pp. 3689–3693. DOI: 10.5897/JMPR12.234.
26. Sandhu N.S., Kaur S., Chopra D. *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 146–150.
27. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 1, pp. 149–154. (in Russ.).
28. Bondarchuk R.A., Kolomiets, N.E. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2011, no. 5, pp. 25–29. (in Russ.).
29. Bondarchuk R.A. *Farmakognosticheskoye issledovaniye khvoshcha lesnogo kak perspektivnogo istochnika biologicheskii aktivnykh soyedineniy: avtoreferat dis. ... kand. farm. nauk*. [Pharmacognostic study of horsetail as a promising source of biologically active compounds: abstract of dis. ... Cand. farm. sciences]. Samara, 2013, 24 p. (in Russ.).
30. Suzuki K., Homma T. *J. Adv. Sci.*, 1997, vol. 9, no. 1–2, pp. 104–105. DOI: 10.2978/jsas.9.104
31. Chang J., Xuan L., Xu Y. *Zhiwu Xuebao*, 2001, vol. 43, no. 2, pp. 193–197.
32. Veit M., Geiger H., Czygan F.C., Markham K.R. *Phytochemistry*, 1990, vol. 29, no. 8, pp. 2555–2560. DOI: 10.1016/0031-9422(90)85187-K.
33. Pietta P., Mauri P., Bruno A., Rava A., Manera E., Ceva P. *J. Chromatogr.*, 1991, vol. 553, no. 1-2, pp. 223–231. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)88492-2.
34. Veit M., Geiger H., Wray V., Abou-Mandour A., Rozdzinski W., Witte L., Strack D., Czygan F.C. *Phytochem.*, 1993, vol. 32, no. 4, pp. 1029–1032.
35. Veit M., Geiger H., Kast B., Beckert C., Horn C., Kenneth R., Wong H. *Phytochemistry*, 1995, vol. 39, no. 4, pp. 915–917. DOI: 10.1016/0031-9422(95)00941-Y
36. Beckert C., Horn C., Schnitzler J.P., Lehning A., Heller W., Veit M. *Phytochemistry*, 1997, vol. 44, no. 2, pp. 275–283. DOI: 10.1016/S0031-9422(96)00543-2.
37. Veit M., Strack D., Czygan F.C., Wray V., Witt L. *Phytochemistry*, 1991, vol. 30, no. 2, pp. 527–529.
38. Veit M., Abou-Mandour A.A., Czygan F.C. *Planta Med Suppl.*, 1991, vol. 2, 57: A36.
39. Veit M., Beckert C., Hohne C., Bauer K., Geiger H. *Phytochemistry*, 1995, vol. 38, pp. 881–891. DOI: 10.1016/0031-9422(94)00658-G.
40. Veit M., Weidner C., Strack D., Wray V., Witte L., Czygan F.C. *Phytochemistry*, 1992, vol. 31, pp. 3483–3485.
41. Hohlfeld M., Veit M., Strack D. *Plant Physiol.*, 1996, vol. 111, no. 4, pp. 1153–1159. DOI: 10.1104/pp.111.4.1153.
42. Saleh N.A.M., Majak W., Towers G.H.N. *Phytochemistry*, 1972, vol. 11, no. 3, pp. 1095–1099.
43. Saleh N.A.M. *Phytochemistry*, 1975, vol. 14, no. 1, pp. 286–287.

44. Saleh N.A.M., Abdalla M.F. *Phytochemistry*, 1980, vol. 19, no. 5, p. 987.
45. Syrchina A.I. *Khimicheskoye issledovaniye fenol'nykh soyedineniy khvoshcha polevogo (Equisetum arvense L.): avtoref. dis. ... kand. khim. nauk.* [Chemical study of phenolic compounds of the field horsetail (*Equisetum arvense L.*): abstract of thesis. dis. ... Cand. chem. sciences]. Irkutsk, 1981, 26 p. (in Russ.).
46. Syrchina A.I., Gorokhova V.G., Tyukavkina N.A., Babkin V.A., Voronkov M.G. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1980, no. 3, pp. 334–337. (in Russ.).
47. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1973, no. 5, pp. 671–672. (in Russ.).
48. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1974, no. 6, pp. 794–795. (in Russ.).
49. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1975, no. 3, pp. 424–425. (in Russ.).
50. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1978, no. 6, pp. 807–808. (in Russ.).
51. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1974, no. 5, pp. 666–667. (in Russ.).
52. Syrchina A.I., Zapesochnaya G.G., Tyukavkina N.A. Voronkov M.G. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1980, no. 3, pp. 413–414. (in Russ.).
53. Syrchina A.I., Zapesochnaya G.G., Tyukavkina N.A. Voronkov M.G. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1980, no. 4, pp. 499–501. (in Russ.).
54. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1975, no. 3, pp. 416. (in Russ.).
55. Syrchina A.I., Voronkov M.G., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1978, no. 8, pp. 803–804. (in Russ.).
56. Francescato L.N., Debenedetti S.L., Schwanz T.G., Bassani V.L., Henriques A.T. *Talanta*, 2013, vol. 105, pp. 192–203. DOI: 10.1016/j.talanta.2012.11.072
57. Bonacheva V.M., Botirov E.Kh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 1, pp. 171–174. DOI: 10.14258/jcprm.1301171. (in Russ.).
58. Bonacheva V.M., Botirov E.Kh. *Rus. J. Bioorg. Chem.*, 2014, vol. 40, no. 7, pp. 769–772. DOI: 10.1134/S1068162014070048
59. Bonacheva V.M., Botirov E.Kh., Drenin A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 3, pp. 195–199. DOI: 10.14258/jcprm.1403195. (in Russ.).
60. Bonacheva V.M. *Flavonoidy i ftalaty Equisetum arvense L., Equisetum sylvaticum L. i Pseudosophora alopecuroides L.: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk.* [Flavonoids and phthalates *Equisetum arvense L.*, *Equisetum sylvaticum L.*, and *Pseudosophora alopecuroides L.*: author. dis. ... Cand. chem. sciences]. Novosibirsk, 2016, 18 p. (in Russ.).
61. Wiedemfeld H.A., Andrade Cetto A.B., Amador C.P. *Biochem. System. and Ecol.*, 2000, vol. 28, pp. 395–397. DOI: 10.1016/S0305-1978(99)00074-5.
62. Cramer L., Ernst L., Lubienski M., Papke U., Schiebel H.M., Jerz G., Beuerle T. *Phytochemistry*, 2015, vol. 116, pp. 269–282. DOI: 10.1016/j.phytochem.2015.03.003.
63. Tipke I., Bucker L., Middelstaedt J., Winterhalter P., Lubienski M., Beuerle T. *Phytochem. Anal.*, 2019, vol. 30, no. 6, pp. 669–678. DOI: 10.1002/pca.2840.
64. Geiger H., Lang U., Britsch E., Mabry T.J., Suhr-Schiicker U., Velde G.V., Waldrum H. *Phytochemistry*, 1978, vol. 17, no. 2, pp. 336–337.
65. Fahmi Aly H., Geiger H., Schucker U., Waldrum H., Vander Velde G., Mabry T.J. *Phytochemistiy*, 1975, vol. 14, no. 7, pp. 1613–1615.
66. Al-Snafi A.E. *IOSR Journal of Pharmacy*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 31–42. DOI: 10.9790/3013-0702013142.
67. Tan J.M., Qiu Y.H., Tan X.Q., Tan C.H., Xiao K. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2011, vol. 13, no. 9, pp. 811–816. DOI: 10.1080/10286020.2011.596829.
68. Radulović N., Stojanović G., Palić R. *Phytother. Res.*, 2006, vol. 20, pp. 85–88. DOI: 10.1002/ptr.1815.
69. Hayek N. *Encyclopedia of Medicinal Plants*. Librairie du Liban, Beyrouth, 1997, 255 p.
70. Natherova L., Kresanek J., Janasova Z. *Cesk. Farm.*, 1977, vol. 26, no. 5, pp. 206–211.
71. Kolomyets N.E., Sapronova N.N., Kalinkina G.I., Dmitruk S.Ye. *Farmatsiya*, 2006, no. 1, pp. 19–21. (in Russ.).
72. Reshetnikova M.D. *Farmakognosticheskoye izucheniye khvoshcha polevogo: avtoref. dis. ... kand. farm. nauk.* [Pharmacognostic study of field horsetail: author. dis. ... Cand. farm. sciences]. Ufa, 1993, 17 p. (in Russ.).
73. Kolomiets N.E., Yusubov M.S., Kalinkina G.I. *Chemistry of Natural Compounds*, 2012, vol. 48, no. 1, pp. 135–136. DOI: 10.1007/s10600-012-0181-9.
74. Oh H., Kim D.H., Cho J.H., Kim Y.C. *J. Ethnopharmacol.*, 2004, vol. 95, pp. 421–424. DOI: 10.1016/j.jep.2004.08.015.
75. AbdElIslam N.M., Ullah R., Waseem M., Hussain I., Ahmad Sh. *Life Science Journal*, 2013, vol. 10, no. 7, pp. 966–968.
76. *WHO monographs on medicinal plants commonly used in the Newly Independent States (NIS)*. World Health Organization, 2010, pp. 113–126.
77. Mimica-Dukic N., Simin N., Cvejic J., Jovin E., Orcic D., Bozin B. *Molecules*, 2008, vol. 13, pp. 1455–1464. DOI: 10.3390/molecules13071455.
78. Syrchina A.I., Gorenysheva O.N., Semenov A.A., Biyushkin V.N., Malinovskii T.I. *Chemistry of Natural Compounds*, 1978, vol. 14, no. 4, pp. 432–436. DOI: 10.1007/BF00565253.
79. Ganeva Y., Chaney C., Dentchev T. *Dokladi na Bulgarskata Akademiya na Naukite*, 2001, vol. 54, pp. 53–56.
80. Takatsuto S., Abe H. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 1992, vol. 56, pp. 834–835. DOI: 10.1271/bbb.56.834.
81. Takatsuto S., Abe H., Gamoh K. *Agric. Bioi. Chern.*, 1990, vol. 54, pp. 1057–1059. DOI: 10.1080/00021369.1990.10870042.
82. *European Medicines Agency; Community herbal monograph on Equisetum arvense L. HERBA.*, Doc. Ref. EMEA/HMPC/394895/2007. 2008.
83. Jabeur I., Martins N., Barros L., Calhelha R.C., Vaz J., Achour L., Santos-Buelga C., Ferreira I.C. *Food Funct.*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 975–984. DOI: 10.1039/c6fo01778a.
84. Pallag A., Jurca T., Pasca B., Sirbu V., Honges A., Costuleanu M. *Rev. Chim. (Bucharest)*, 2016, vol. 67, no. 8, pp. 1623–1627.
85. Qureshi M.N., Stecher G., Bonn G.K. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 2016, vol. 29, no. 5, pp. 1519–1523.

86. *The Alkaloids*, ed. A. Brossi. New York: Academic Press, 1983, vol. XXII, pp. 109–111.
87. Milovanovic V., Radulovic N., Todorovic Z., Stankovic M., Stojanovic G. *Plant Food Hum Nutr.*, 2007, vol. 62, no. 3, pp. 113–119. DOI: 10.1007/s11130-007-0050-z.
88. Patil S.A., Patil R., Patil S.A. *Eur. J. Med. Chem.*, 2017, vol. 138, pp.182–198. DOI: 10.1016/j.ejmech.2017.06.032.
89. Rezanika T. *Phytochemistry*, 1998, vol. 47, no. 8, pp. 1539–1543. DOI: 10.1016/S0031-9422(97)00774-7.
90. Brune T., Haas K. *AOB PLANTS*, 2011, plr009. DOI: 10.1093/aobpla/plr009.
91. Carnet A., Petitjean-Freytet C., Muller D., Lamaison J.L. *Plants Med. Phytother*, 1991, vol. 25, pp. 32–38.
92. Sola-Rabada A., Rinck J., Belton D.J., Powell A.K., Perry C.C. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 2016, vol. 21, no. 1, pp. 101–112. DOI: 10.1007/s00775-015-1320-0.
93. Kolomiets N.E., Ageyeva L.D., Abramets N.Yu. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2014, no. 8, pp. 1418–1421. (in Russ.).
94. Voronkov M.G., Kuznetsov I.G. *Kremniy v zhivoy prirode*. [Silicon in nature]. Novosibirsk, 1984, 157 p. (in Russ.).
95. Valchev V., Smaih M., Faust A.C., Vidal L. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 2003, vol. 42, no. 24, pp. 2782–2785. DOI: 10.1002/anie.200351175.
96. Holzhter G. Narayanan K., Gerber T. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2003, vol. 376, no. 4, pp. 512–517. DOI: 10.1007/s00216-003-1905-2.
97. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Farmatsiya*, 2009, no. 3, pp. 13–15. (in Russ.).
98. Weiss R.F. *Herbal Medicine*. Gothenburg, Sweden: AB Arcanum, 1998, pp. 238–239.
99. Carneiro D.M., Jardim T.V., Araújo Y.C.L., Arantes A.C., Sousa A.C. et al. *Pharmacog. Rev.*, 2019, vol. 13, no. 26, pp. 50–58. DOI: 10.5530/phrev.2019.2.4.
100. Carneiro D.M., Freire R.C., Honório T.C., Zoghaib I., Cardoso F.F., Tresvenzol L.M. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, vol. 10, 760683. DOI: 10.1155/2014/760683.
101. Lemus I., Garcia R., Erazo S., Pena R., Parada M., Fuenzalida M. *J. Ethnopharmacol.*, 1996, vol. 54, no. 1, pp. 55–58. DOI: 10.1016/0378-8741(96)01444-4.
102. Wright C.I., Van-Buren L., Kroner C.I., Koning M.M.G. *J. Ethnopharmacol.*, 2007, vol. 114, no. 1, pp. 1–31. DOI: 10.1016/j.jep.2007.07.023.
103. Canadanovic-Brunet J.M., Cetkovic G.S., Djilas S.M., Tumbas V.T., Savatovic S.S., Mandic A.I. *International Journal of Food Science & Technology*, 2009, vol. 44, no. 2, pp. 269–278. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01680.x.
104. Stajner D., Popović B.M., Canadanović-Brunet J., Boza P. *Fitoterapia*, 2006, vol. 77, no. 7-8, pp. 601–604. DOI: 10.1016/j.fitote.2006.06.006.
105. Marin D.B., Cioanca O., Apostu M., Tuchilus C.G., Mircea C., Robu S., Tutunaru D., Corciova A., Hancianu M. *Revista de Chimie*, 2019, vol. 70, no. 7, pp. 2519–2523. DOI: 10.37358/rc.19.7.7372.
106. Kolomiets N.E., Kalinkina G.I. *Farmatsiya*, 2007, no. 5, pp. 38–39. (in Russ.).
107. Dos Santos Alves C.F., Bonez P.C., De Souza Ebling M., Casagrande C., Freitas L., Dolwitsch C., Pires F., Sargrillo M.R., De Brum G.F., De Campos M.M.A., Santos R.C.V. *Pharmacognosy Journal*, 2019, vol. 11, no. 6, pp. 1563–1571. DOI: 10.5530/PJ.2019.11.239.
108. Kolomiets N.E., Dmitruk S.Ye., Kalinkina G.I. *Farmatsiya*, 2007, no. 4, pp. 36–40. (in Russ.).
109. Goun E.A., Petrichenko V.M., Solodnikov S.U., Suhinina T.V., Kline M.A., Cunningham G., Nguyen C., Miles H. *J. Ethnopharmacol*, 2002, vol. 81, no. 3, pp. 337–342. DOI: 10.1016/s0378-8741(02)00116-2.
110. Li P., Chiu Y., Shih C., Wen Z., Ibeto L., Huang S., Chiu C., Ma D., Leung C., Chang Y., Wang H. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 2853543. DOI: 10.1155/2016/2853543.
111. Haider B., Al-Badri H.B., Al-Ani W.M.K., Naser A-M.A.G. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2016, vol. 5, no. 1, pp.149–155.
112. Kolomiets N.E., Sheykin V.V., Rat'kin A.V., Bondarchuk R.A. *Farmatsiya*, 2011, no. 7, pp. 15–16. (in Russ.).
113. Kolomiets N.E., Yefimov S.N. *Farmatsiya*, 2005, no. 5, pp. 31–32. (in Russ.).
114. Revilla M.C., Andrade-Cetto A., Islas S., Wiedenfeld H. *J. Ethnopharmacol.*, 2002, vol. 81, no. 1, pp. 117–120. DOI: 10.1016/s0378-8741(02)00053-3.
115. Dos Santos J.G.Jr., Blanco M.M., Do Monte F.H., Russi M., Lanzotti V.M., Leal L.K. *Fitoterapia*, 2005, vol. 76, no. 6, pp. 508–513. DOI: 10.1016/j.fitote.2005.04.017.
116. Singh N., Kaur S., Bedi P.M., Kaur D. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2011, vol. 49, no. 5, pp. 352–356.

Received May 14, 2020

Revised October 3, 2020

Accepted October 7, 2020

**For citing:** Botirov E.Kh., Bonacheva V.M., Kolomiets N.E. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 5–26. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021017760.