

УДК 582.623.2.581.192.664.64.016.76

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧЕК *POPULUS NIGRA* L. КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА*

© Л.Т. Сухенко^{1**}, Е.А. Курашов², Ю.В. Крылова^{2,3}

¹ Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева,
ул. Татищева, 20а, Астрахань, 41405 (Россия), e-mail: sukhenko@list.ru

² Институт озеразведения РАН, обособленное подразделение СПб ФИЦ
РАН, ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, 196105 (Россия)

³ Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного
бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-
исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, 199053
(Россия)

Изучен химический состав низкомолекулярных органических соединений (НОС) в спиртовом экстракте почек *Populus nigra* L. Каспийского региона методом хромато-масс-спектрометрического анализа. Также оценена антимикробная (бактерицидная) активность экстрактивных компонентов почек *P. nigra* в сравнении с другими растениями с характерными антимикробными свойствами. Экстракцию проводили методом перколяции в водно-спиртовых растворах. Исследование антимикробной активности проводилось стандартным методом КОЕ. В результате выявлено 49 соединений, из которых 10 остались неидентифицированными. Изучение сравнительных противомикробных свойств растительных экстрактов показало полную бактерицидную активность почек *P. nigra* в отношении условно-патогенных микроорганизмов и микрофлоры воздуха и воды, в МИК, равных 0.25 мкг/мл. Поэтому НОС, выделяемые из почек *P. nigra* Каспийского региона, имеют перспективы последующего изучения антиоксидантной активности и для приготовления биотехнологических препаратов и фармсредств.

Ключевые слова: *Populus nigra*, почки, хромато-масс-спектрометрический анализ, низкомолекулярные органические соединения, флавоноиды, бактерицидная активность, фармсредства.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – ФИЦ РАН по теме 0154-2019-0002

Введение

Уникальность природного комплекса Каспийского региона, в состав которого входит и Астраханская область, отличается единством каспийской экосистемы, биологическим разнообразием, неисчерпаемыми рекреационными возможностями [1]. Среди флоры Нижнего Поволжья и Каспийского региона широко распространены тополь черный *Populus nigra* L. Тополь черный довольно полно описан в монографии «Флора Нижнего Поволжья», как известно, относится к семейству *SALICACEAE* Mirb. – Ивовые, род *Populus* L.

Сухенко Людмила Тимофеевна – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии, зоологии и аквакультуры, главный научный сотрудник научной лаборатории биотехнологий, e-mail: sukhenko@list.ru

Курашов Евгений Александрович – доктор биологических наук, профессор, руководитель лаборатории гидробиологии, e-mail: evgeny_kurashov@mail.ru

Крылова Юлия Викторовна – кандидат географических наук, доцент, e-mail: juliakrylova@mail.ru

Имеет рост моноподиальный, на вегетативном побеге всегда образуется верхушечная почка. Почки покрыты снаружи двумя или более чешуями. Сержки повислые. Цветки на оси сержки сидячие или на коротких ножках. Околоцветник присутствует в виде диска или бокальчика, нектарных железок нет. Тычинок 6–40. Коробочка 2–5-раздельная. Опыление цветков осуществляется ветром.

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20230312177s

** Автор, с которым следует вести переписку.

Двудомные быстрорастущие деревья высотой до 25–40(50) м и диаметром ствола иногда свыше 1 м (исключение – туранга сизолистная, обладающая меньшими размерами). Свето- и влаголюбивы, входят в состав преимущественно вторичных лесов, встречаются в разных биотопах, но большинство видов тяготеет к пойменным условиям. Подробно описываются почки, которые одеты несколькими чешуями. В Каспийском регионе тополь черный относится к пойменным растениям, используется в хозяйственной деятельности для домашних построек и в качестве озеленения. Береговые посадки наблюдаются во всех прикаспийских дельтовых участках. Близ Астрахани известна также локальная заносная популяция *Populus pruinos* Schrenk, и этот вид принадлежит секции *Turanga Bunge* (туранги) [2]. Все тополя хорошо размножаются вегетативно. «Тополя очень склонны к межвидовой гибридизации, как естественной, так и искусственной» [2]. Большинство нотовидов широко используются в городском озеленении. В озеленении почти повсеместно преобладают гибриды евроазиатских *P. nigra*, *Populus suaveolens* Fish. и *Populus laurifolia* Ledeb. *P. nigra*, которые имеет раскидистую крону, темно-зеленую окраску листьев, признаки основных листьев приведены для определения вида, речь идет о листьях из кроны взрослых деревьев. На Нижней Волге в естественной природе произрастают 3 вида и 1 гибрид (*Populus ×canescens*), а культивируются, вероятно, не менее 6 видов и гибридов [2].

При изучении антимикробных свойств многих экстрактов, в том числе из почек тополя черного (*P. nigra*), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) и тополя канадского (*Populus deltoids* Marsh), некоторые авторы обнаруживают флавоноиды, в частности пиноцембрин и пиностробин – главные компоненты данных растений [3]. Одним из оптимальных условий экстракции авторы предлагают соотношение сырья и экстрагента 1 : 40. В почках тополя, по мнению авторов, содержится довольно много экстрактивных веществ, авторы использовали 96%-ный этиловый спирт, вместо мацерации предложена термическая экстракция, позволяющая произвести исчерпывающее извлечение целевых веществ. Время полной экстракции фенолпропаноидов из почек составляло 45 мин [4].

В литературе имеются сведения о наличии в коре ствола тополя лавролистного различных фенольных веществ, в частности фенолкарбоновых кислот и гидроксикоричных кислот, производных салицилового спирта и других соединений. Авторы использовали препаративную хроматографию на колонке с силикагелем с последующей идентификацией выделенных веществ [5].

Проведено выявление веществ, ответственных за биологическую активность экстрактов из почек тополя дельтовидного и тополя бальзамического, их идентификация с помощью физико-химических констант, данных УФ, ПМР-спектроскопии, и масс-спектрометрии. Авторами были изучены антимикробные и противогрибковые свойства двух главных выявленных флавоноидных веществ – пиноцембрина (5,7-дигидроксифлавона) и пиностробина (5-гидрокси-7-метоксифлавона), гидроксикоричных кислот, содержащихся в экстрактах с комплексными соединениями пиностробина [6, 7].

Некоторыми авторами было отмечено высокое содержание в почках тополя бальзамического пиностробина – одного из основных биологически активных антимикробных соединений почек тополя черного, который является перспективным источником антимикробных и противогрибковых лекарственных средств [6]. Авторы считают, что почки тополя могут являться источником антибактериальных и противогрибковых лекарственных средств [4, 8, 9].

Известно также, что постоянное и широкое применение антибиотиков приводит к ряду явлений, приводящих к возникновению аллергических реакций от применения большинства антибиотиков, токсических эффектов, развитию лекарственной резистентности микроорганизмов, к появлению новых инфекционных процессов, выделению патогенного возбудителя в окружающую среду [10, 11]. Проводимые в институте ВИЛАР исследования привели к выявлению ряда растений, перспективных для создания эффективных лечебных препаратов, одним из которых является сангвиритрин, который подавляет рост и развитие широкого спектра микроорганизмов, включая клинические штаммы, обладающие высокой степенью лекарственной резистентности [12, 13].

Учитывая вышесказанное, целью нашей работы было изучение химического состава низкомолекулярных органических соединений (НОС) почек тополя черного эндемика Каспийского региона для определения особенностей состава НОС и сравнительной бактерицидной активности экстрагированных соединений.

Экспериментальная часть

Для исследования проводили сбор почек тополя черного в окрестностях сел Приволжского района Астраханской области Каспийского региона, прилегающих к рукавам р. Волги, ранней весной в начале марта с соответствующими признаками. Проводили определение видовой принадлежности по форме кроны и листовым пластинкам. Крона раскидистая или пирамидальная. Черешки листьев в верхней половине сильно сплюснутые с боков, на верхней стороне всегда без желобка, совершенно голые. Лист дельтовидной или ромбической формы, с резким переходом основания в боковой край, по которому проходит узкая (0.2 мм) полупрозрачная кайма с сильно или слабо смолистыми почками [2, 14].

Экстрагирование активных растительных компонентов почек тополя проводили методом перколяции, в данной работе подвергались трехкратной перколяции в 70% растворе этанола, согласно методу Пономарева [15–17]. Жидкий экстракт из собранных и высушенных частей дикорастущих растений исследовали методом газо-жидкостной хромато-масс-спектрометрии. Экстракты перед хроматографированием разбавлялись в 200 раз. Низкомолекулярные органические соединения (НОС) выявлялись в экстрактах при помощи хромато-масс-спектрометрического комплекса TRACE DSQ II (Thermo Electron Corporation) [18–21]. Использовали колонку модели «TRACE TR-5MS GC Column», 15 м × 0.25 мм с фазой ID 0.25 мкм. Газоносителем служил гелий. Масс-спектры снимали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30–600 m/z) в программированном режиме температур (35 °С – 3 мин, 2 °С/мин до 60 °С – 3 мин, 2 °С/мин до 80 °С – 3 мин, 4 °С/мин до 120 °С – 3 мин, 5 °С/мин до 150 °С – 3 мин, 15 °С/мин до 240 °С – 10 мин) с последующей пошаговой обработкой хроматограмм. Идентификацию выявленных НОС проводили с использованием библиотек масс-спектров «NIST-2014» и «Wiley». Для более точной идентификации применяли линейные индексы удерживания [18–20], полученные с использованием стандартов алканов C₇–C₃₀. Количественный анализ выполняли с использованием бензофенона в качестве внутреннего стандарта [22, 23]. Для сравнительного изучения антимикробной (бактерицидной) активности экстрактов почек *P. nigra* были использованы полученные ранее экстракты из растений Каспийского региона, которые обладали наиболее характерными противомикробными свойствами: (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench сем. Compositae, *Achillea micrantha* Willd. сем. Asteraceae, *Glycyrrhiza glabra* L. сем. Fabaceae. Применяли метод водно-спиртовой экстракции с переменным автоклавированием, целью которого являлась концентрация и испарение остатков спирта с одновременной стерилизацией препарата, а также его стабилизация [16]. Проведены исследования в отношении микрофлоры окружающей среды: воздуха помещений открытого типа, воздуха больничных помещений, микрофлоры воды р. Кутум, расположенной в Приволжском районе Астраханской области, а также водопроводной воды, подающейся в больничные помещения. Кроме того, предварительно проведены исследования противомикробной активности условно-патогенных бактерий рода *Staphylococcus aureus*, любезно представленных Московским центром борьбы с туберкулезом. Исследования проводили на универсальной питательной среде МПА стандартным методом колониеобразующих единиц (КОЕ) в контрольных образцах и под влиянием идентифицированных биологически активных компонентов растений. Метод подсчета КОЕ проводили в соотношении – 1.0×10^8 , при оценке применяя статистические методы Стьюдента.

Обсуждение результатов

В таблице 1 представлен компонентный состав НОС экстракта почек тополя черного (*P. nigra*). Всего выявлено 49 соединений, из которых 10 остались неидентифицированными. При этом на неидентифицированные компоненты приходилось 27.49% концентрации всех НОС. Наибольшую концентрацию из неидентифицированных НОС имело соединение с RT (время удерживания) = 61.71 мин – 19.82%. Это соединение представляет большой интерес, так как, судя по масс-спектру, представленному на рисунке 1 электронного приложения, оно относится к веществам флавоноидного ряда.

Некоторые формулы и названия наиболее активных компонентов экстрактов тополя черного (*P. nigra*) представлены на рисунках 2–13 в электронном приложении. На рисунках 2 и 3 представлены формулы 2-фенилэтанола и 3-бутилоксолан-2-она. На рисунке 4 – α -хумулена; на рисунке 5 – салицилальдегид гидразона; на рисунке 6 – α -бисаболола; на рисунке 7 – феруловой кислоты; на рисунке 8 – формула манолола. На рисунке 9 – (E)-1-(2,6-дигидрокси-4-метоксифенил)-3-фенилпроп-2-ен-1-он; на рисунке 10 – формула 5,7-дигидрокси-2-фенил-4Н-1-бензопиран-4-он; на рисунке 11 – формула 5-гидрокси-7-метокси-2-фенил-

4Н-хромен-4-он; на рисунке 12 – формула N-(4-метилфенил)индено[1,2-b]пиридин-5-имин; [4-азафлоренон, 4-метилфениламин]; на рисунке 13 – формула сквалена. Среди обнаруженных соединений наибольший интерес вызывают соединения на рисунках 9–11 электронного приложения, по своей химической структуре напоминающие флавоны, а также нарингенин. Данные соединения соответствуют по своим характеристикам расположению фенольных колец и расположению гидроксильных и кетонных групп соединениям класса флавонов, флавонолов и их изомеров [24, 25]. Как правило, данные соединения обладают сильно выраженной биологической активностью. В частности, показано, что тектохризин, на долю которого приходится более 11% от суммы всех НОС в экстракте, а также 6-пренилхризин являются перспективными и мощными ингибиторами белков, обуславливающих врожденную или приобретенную резистентность к лекарственным препаратам в опухолях, которая часто является причиной неэффективности противоопухолевой химиотерапии [26]. Также тектохризин обладает значительной антиоксидантной и другими видами биологических активностей [27]. В свою очередь, галангин флавонон (или пиноцембрин), наиболее обильный компонент в экстракте почек *P. nigra*, представляет собой основной флавоноид, использующийся в качестве многофункциональной молекулы в фармацевтической промышленности. Его обширный спектр (а также его метаболитов) фармакологической активности включает противомикробную, противовоспалительную, антиоксидантную и противораковую активность [28–31].

Результаты изучения сравнительной антимикробной активности экстрактов почек *P. nigra* в сравнении с экстрактами лекарственных растений Каспийского региона помещены в таблицы 2–4. Исследования активных доз изучаемых растительных экстрактов показали результаты минимальных ингибирующих концентраций (МИК), которые представлены в таблице 2.

Изучение влияния различных концентраций экстрактов на штамм *S. aureus* и нахождения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) экстрактов *P. nigra*, *H. arenarium*, *G. glabra*, *A. micrantha* методом подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ) показало, что наиболее активными концентрациями оказались 5.0; 2.5; 0.25 мкг/мл. Следует отметить, что антибактериальная активность почек *P. nigra* в большей степени проявлялась уже в концентрации 0.25 мкг/мл, где КОЕ=4.6±0.05, при возрастании концентраций роста *S. aureus* не наблюдалось. Как видно, в остальных концентрациях (0.5 – 5.0 мкг/мл) экстрактов почек тополя рост золотистого стафилококка отсутствовал. Так, МИК для всех растительных экстрактов 2.5 мкг/мл, для экстракта почек тополя – 0.25 мкг/мл активных экстрактивных компонентов.

В таблице 3 отражены результаты исследования сравнительного влияния бактерицидных веществ экстрактов почек *P. nigra*, экстрактов *A. micrantha*, *H. arenarium* и *G. glabra* на микрофлору воздуха открытых помещений и природной воды.

Результаты влияния бактерицидных веществ экстрактов лекарственных растений на микрофлору окружающей среды показали подавление развития микрофлоры воздуха и воды. Так, обнаружено подавление микрофлоры воздуха биологически активными веществами экстракта соцветий тысячелистника мелкоцветкового в пять раз, воды в 10 раз, БАВ соцветий цмина песчаного – в 3 раза. Под влиянием бактерицидных веществ почек тополя черного подавление микрофлоры воздуха и воды оказалось полным или почти полным. Оказалось, что в повторных исследованиях под влиянием бактерицидных веществ экстрактов почек *P. nigra* роста на средах микробных клеток воды не обнаружено.

Были проведены дополнительные сравнительные исследования влияния экстрактивных компонентов некоторых растений на изменение микрофлоры водопроводной воды больничных палат и микробного состава воздуха больничных помещений. Результаты помещены в таблице 4.

Таблица 1. Компонентный состав экстракта почек тополя черного (*P. nigra*) (RT – время удерживания, мин; RI – индекс удерживания; % – процентное содержание вещества от суммы всех НОС в экстракте, С – концентрация вещества в экстракте, мг/л)

№ п/п	Вещество	Формула	RT	RI	%	С
1	2	3	4	5	6	7
1	этилбензол	C ₈ H ₁₀	4.14	870	0.44	50.70
2	1,4-ксилен	C ₈ H ₁₀	4.37	878	1.27	146.17
3	стирен	C ₈ H ₈	5.06	903	0.25	28.75
4	1,2-ксилен	C ₈ H ₁₀	5.10	905	0.44	50.93
5	пропилбензен	C ₉ H ₁₂	7.51	961	0.17	19.65
6	1,2,3-триметилбензен	C ₉ H ₁₂	9.39	1001	0.27	31.22

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
7	3-бутилоксолан-2-он	C ₈ H ₁₄ O ₂	10.11	1016	0.05	5.80
8	1-метил-4-пропан-2-илбензен ; [p-цимен]	C ₁₀ H ₁₄	11.10	1033	0.11	12.30
9	(4S)-1-метил-4-проп-1-ен-2-илциклогексен; [β-лимонен]	C ₁₀ H ₁₆	11.33	1037	0.05	5.69
10	фенилметанол	C ₇ H ₈ O	12.11	1050	0.17	19.36
11	неидентифицированное	–	13.17	1067	0.11	12.65
12	2-фенилэтанол	C ₈ H ₁₀ O	16.67	1123	2.66	305.63
13	бензойная кислота	C ₇ H ₆ O ₂	22.75	1198	0.20	23.51
14	додекан	C ₁₂ H ₂₆	23.92	1200	0.16	18.01
15	2,3-дигидро-1-бензофуран	C ₈ H ₈ O	26.03	1242	0.73	84.13
16	4-этил-2-метоксифенол	C ₉ H ₁₀ O ₂	32.08	1322	0.32	36.91
17	(4aR,8aR)-3,4,4a,5,6,7,8,8a-октагидро-1H- нафтален-2-он	C ₁₀ H ₁₂ D ₄ O	33.50	1345	0.10	11.98
18	тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀	37.60	1400	0.23	26.64
19	(1E,4E,8E)-2,6,6,9-тетраметилциклоундека- 1,4,8-триен; [α-гумулен]	C ₁₅ H ₂₄	39.09	1449	0.07	7.77
20	2-[(E)-гидразинилиденметил]фенол; [сали- цилальдегид гидразон]	C ₇ H ₈ N ₂ O	40.07	1474	0.76	87.91
21	1-метил-4-(6-метилгепт-5-ен-2-ил)бензен	C ₁₅ H ₂₂	40.62	1487	0.13	15.17
22	2,6-дитрет-бутил-4-метилфенол; [ионол]	C ₁₅ H ₂₄ O	41.79	1516	0.17	19.62
23	3-этоксипензамид	C ₉ H ₁₁ NO ₂	43.15	1547	0.06	6.78
24	гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	45.95	1600	0.13	14.49
25	(2R)-6-метил-2-[(1R)-4-метилциклогекс-3-ен- 1-ил] гепт-5-ен-2-ол; [α-бисаболол]	C ₁₅ H ₂₆ O	48.62	1689	0.22	24.89
26	октадекан	C ₁₈ H ₃₈	52.24	1800	0.08	9.33
27	неидентифицированное	–	54.14	1875	0.13	15.21
28	(E)-3-(4-гидрокси-3-метоксифенил)проп-2- еновая кислота; [феруловая кислота] (изомер)	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	54.58	1891	0.17	19.70
29	(E)-3-(4-гидрокси-3-метоксифенил)проп-2- еновая кислота; [феруловая кислота]	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	55.09	1909	0.94	107.57
30	неидентифицированное	–	55.72	1955	0.07	8.40
31	гексадекановая кислота	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.02	1977	0.38	44.04
32	неидентифицированное	–	56.3	1998	0.16	18.30
33	эйкозан	C ₂₀ H ₄₂	56.43	2000	0.40	45.45
34	5-(5,5,8a-триметил-2-метилендекагидро-1- нафталинил)-3-метил-1-пентен-3-ол; [маноол]	C ₂₀ H ₃₄ O	56.86	2052	0.08	8.67
35	неидентифицированное	–	56.94	2060	0.13	14.46
36	неидентифицированное	–	57.08	2075	0.35	40.19
37	генэйкозан	C ₂₁ H ₄₄	57.37	2100	0.16	18.07
38	метилоктадеканоат	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	57.59	2133	0.34	38.89
39	неидентифицированное	–	57.92	2175	0.42	48.88
40	докозан	C ₂₂ H ₄₆	58.13	2200	0.76	87.93
41	трикозан	C ₂₃ H ₄₈	58.82	2300	0.67	77.06
42	(E)-1-(2,6-дигидрокси-4-метоксифенил)-3- фенилпроп-2-ен-1-он	C ₁₆ H ₁₄ O ₄	59.43	2399	4.25	488.53
43	5,7-дигидрокси-2-фенил-2,3-дигидро-4H-хро- мен-4-он; [галангин флаванон]	C ₁₅ H ₁₂ O ₄	60.04	2491	34.07	3919.04
44	5-гидрокси-7-метокси-2-фенил-4H-хромен-4- он; [тектохризин]	C ₁₆ H ₁₂ O ₄	60.85	2593	11.76	1352.59
45	неидентифицированное	–	61.71	2676	19.82	2279.88
46	N-(4-метилфенил)индено[1,2-b]пиридин-5- имин; [4-метилфенилимин]	C ₁₉ H ₁₄ N ₂	62.44	2735	5.52	634.48
47	неидентифицированное	–	62.77	2759	3.08	354.73
48	неидентифицированное	–	63.29	2796	3.21	369.32
49	(6E,10E,14E,18E)-2,6,10,15,19,23- гексаметилтетракоза-2,6,10,14,18,22-гексаен; [сквален]	C ₃₀ H ₅₀	63.66	2818	3.80	437.10

Примечание: для некоторых соединений в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования; курсивом выделены мажорные соединения, доля которых превышала 1%.

Таблица 2. Определение минимальных ингибирующих концентраций (МИК) экстрактов растений в отношении *Staphylococcus aureus* (метод КОЕ)

Разведения (мкг/мл)	МИК экстрактивных компонентов КОЕ (M ± m)			
	<i>Populus nigra</i>	<i>Helichrysum arenarium</i>	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	<i>Achillea micranta</i>
контроль	213.2±2.5	213.2±2.5	213.2±2.5	213.2±2.5
0.25	4.6±0.05	50±0.6	26.8±0.9	18.5±0.1
0.5	1.2±0.01	15.8±0.5	13.5±0.2	15.2±0.09
2.5	–	4.5±0.7	8.3±0.05	7.8±0.1
5.0	–	1.9±0.1	4.3±0.04	4.5±0.07

P≤0.005; 0.001 (*; **).

Таблица 3. Влияние бактерицидных веществ экстрактов некоторых лекарственных растений на микрофлору окружающей среды (метод КОЕ/мл)

Объекты МПА на экстрактах (МИК)	Влияние экстрактов на микрофлору открытого воздуха, X±m _x	Влияние экстрактов на микрофлору воды из р. Кутум, X±m _x
<i>Achillea micranta</i>	11.4±0.3*	19.6±0.3*
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	5.1±0.09**	2.6±0.3*
<i>Helichrysum arenarium</i>	9.4±0.15	19±0.8*
<i>Populus nigra</i>	0.4±0.01**	0
Контроль (МПА)	264.4±0.9**	295.6±0.5**

P≤0.005; 0.001 (*; **).

Таблица 4. Сравнительное воздействие экстрактов некоторых растений Каспийского региона на микрофлору воздуха и водопроводной воды больничных помещений (КОЕ)

Объекты	м/ф воздуха (КОЕ/1 л)		м/ф воды (КОЕ/1 мл)	
	X±m _x	Td	X±m _x	Td
<i>Achillea micranta</i>	26.7±5.4*	16.06	26.8±6.0*	6.92
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	5.6±0.2*	87.2	1.8±0.1*	9.2
<i>Helichrysum arenarium</i>	9.8±0.7*	80.5	15.2±2.2*	8.18
<i>Populus nigra</i>	1.5±0.05*	98.9	0.5±0.01*	87.8
Контроль	600.0±7.3**	–	136.0±14.6**	–

Td – показатель достоверности отличий от контрольных значений, где P≤0.005; 0.001 (*; **).

Таким образом, наибольшее достоверное антимикробное действие в этом эксперименте в отношении микрофлоры воздуха больничных помещений и водопроводной воды проявляет экстракт почек тополя *Populus nigra*, эндемика Каспийского региона и прилегающих областей. *Helichrysum arenarium*, *Glycyrrhiza glabra*, *Achillea micranta* также обладают противомикробной активностью, с меньшей долей вероятности.

Оценка чувствительности микроорганизмов воздуха внутренних помещений к фитонцидам почек тополя черного показала почти полное подавление роста микроорганизмов внутренних помещений больничных палат. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения экстрактивных компонентов почек тополя черного, произрастающего в Каспийском регионе, для очищения воздуха помещений, в том числе больничных палат и применения для обеззараживания воды.

Заключение

Методом газовой хромато-масс-спектрометрии в спиртовом экстракте почек тополя черного (*P. Populus nigra*) Каспийского региона, собранных ранней весной, обнаружены 49 НОС, 10 из которых остались неидентифицированными. Одними из основных компонентов экстракта являлись соединения флавоноидного ряда, обладающие выраженной биологической активностью. Изучение сравнительных противомикробных свойств выделенных соединений показало полную бактерицидную активность в отношении условно-патогенных микроорганизмов и микрофлоры воздуха и воды, наиболее достоверных МИК, равных 0.25 мкг/мл. Поэтому НОС, выделяемые из почек *Populus nigra* Каспийского региона, имеют перспективы для создания биотехнологических препаратов и фармсубстанций, что согласуется с результатами, полученными ранее [25–33].

Список литературы

1. Маркелов К.А. Каспийское геополитическое пространство в системе региональной безопасности // *Caspium Securitatis*: журнал каспийской безопасности. 2021. №1(1). С. 11–34.
2. Флора Нижнего Поволжья. Раздельнолепестные двудольные цветковые растения (Salicaceae – Droseraceae). Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. Т. 2-1. 497 с.
3. Браславский В.Б. Исследование химического состава некоторых видов тополя (*Populus L.*): дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 1994. 133 с.
4. Браславский В.Б., Куркин В.А., Жданов И.П. Антимикробная активность экстрактов и эфирных масел почек некоторых видов *Populus L.* // *Растительные ресурсы*. 1991. Т. 27, вып. 2. С. 77–81.
5. Браславский В.Б., Куркин В.А., Запесочная Г.Г., Безрукова Н.А. Количественное определение суммы флавоноидов и гидроксикоричных кислот в почках некоторых родов *Populus L.* // *Растительные ресурсы*. 1991. Т. 27, вып. 3. С. 130–134
6. Адекенов С.М., Байсаров Г.М., Жабаева А.Н., Сунцова Л.П., Душкин А.В. Комплексные соединения на основе оксима пиностробина // *Химия растительного сырья*. 2021. №1. С. 219–226.
7. Запесочная Г.Г., Куркин В.А., Браславский В.Б., Филатова Н.В. Фенольные соединения коры *Salix acutifolia* // *Химия природных соединений*. 2003. №4. С. 263–266.
8. Сухенко Л.Т. Дикорастущие растения флоры юга России как источник ценных фитокомпонентов с противомикробными и биорегуляторными свойствами. М., 2017. 304 с.
9. Сенцов М.Ф., Браславский В.Б., Куркин В.А. Сравнительное исследование компонентного состава почек некоторых видов *Populus L.* методом ВЭЖХ // *Растительные ресурсы*. 1997. Т. 33, вып. 2. С. 51–56.
10. Astafyeva O.L., Sukhenko L.T., Kurashov E.A., Krylova J.V., Egorov M.A., Bataeva Y.V., Baimukhambetova A.S. Chemical Composition and Antibacterial Properties of *Achillea micrantha* // *Indian journal of pharmaceutical sciences: Indian Pharmaceutical Association*. 2018. Vol. 80. Pp. 434–441. DOI: 10.4172/pharmaceutical-sciences.1000376.
11. Таха Т.В., Нажмутдинова Д.К. Использование антимикотических препаратов в лечении отрубевидного лишая // *Русский медицинский журнал*. 2009. Т. 17 (356). С. 1072–1074.
12. Вичканова С.А., Толкачев О.Н., Мартынова Р.Г., Арзамасцев Е.В. Сангвиритрин – новый лекарственный растительный препарат антимикробного действия // *Химико-фармацевтический журнал*. 1982. Т. 16 (12). С. 107–112.
13. Вичканова С.А., Колхир В.К., Крутикова Н.М., Адгина В.В., Фатеева Т.В., Сокольская Т.А. Сангвиритрин – представитель нового поколения препаратов антимикробного действия // *Труды ВИЛИАР «Химия, технология, медицина»*. М., 2000. С. 300–309.
14. *Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; семейства Раеoniaceae – Thymelaeaceae*. Л., 1986. 336 с.
15. Пономарев В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М., 1976. 202 с.
16. Патент №1857313 (РФ). Экстракт солодки голой, обладающий противотуберкулезной активностью / Л.Т. Сухенко, Г.Н. Назарова, Н.Г. Урляпова. – 2009.
17. Каухова И.Е. Особенности экстрагирования биологически активных веществ двухфазной системой экстрагентов при комплексной переработке лекарственного растительного сырья // *Растительные ресурсы*. 2006. Т. 42, вып. 1. С. 82–91.
18. Батаева Ю.В., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование экзогенных метаболитов альгобактериальных сообществ в накопительной культуре // *Вода: химия и экология*. 2014. №9. С. 59–68.
19. Крылова Ю.В., Курашов Е.А., Митрукова Г.Г. Компонентный состав эфирного масла *Potamogeton perfoliatus L.* из Ладожского озера в начале периода плодоношения // *Химия растительного сырья*. 2016. №2. С. 79–88. DOI: 10.14258/jcprgm.2016021189.
20. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Ceratophyllum demersum L.* во время плодоношения // *Вода: химия и экология*. 2012. №6. С. 107–116.
21. Исаева Е.В., Ложкина Г.А., Рязанова Т.В., Вялков А.И., Домрачев Д.В., Ткачев А.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих компонентов вегетативной части тополя бальзамического // *Химия растительного сырья*. 2008. №1. С. 63–67.
22. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск, 2008. 969 с.
23. Золотых Д.С., Поздняков Д.И., Глушко М.П., Дайронас Ж.В. Химический состав и биологическая активность вторичных метаболитов *Impatiens balsamina L.* // *Химия растительного сырья*. 2022. №3. С. 27–47. DOI: 10.14258/jcprgm.20220310518.
24. Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия, 4-е изд. М., 2002. 627 с.
25. Куркин В.А., Браславский В.Б., Запесочная Г.Г. Исследование экстрактов прополиса и почек тополя бальзамического методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // *Журнал физической химии*. 1994. Т. 68. №10. С. 1816–1818.
26. Ahmed-Belkacem A., Pozza A., Muñoz-Martínez F., Bates S.E., Castanys S., Gamarro F., Di Pietro A., Pérez-Victoria J.M. Flavonoid Structure-Activity Studies Identify 6-Prenylchrysin and Tectochrysin as Potent and Specific Inhibitors of Breast Cancer Resistance Protein ABCG2 // *Cancer Research*. 2005. Vol. 65(11). Pp. 4852–4860. DOI: 10.1158/0008-5472.can-04-1817.

27. Lee S., Kim K.S., Park Y., Shin K.H., Kim B.-K. In vivo anti-oxidant activities of tectochrysin // Archives of Pharmacal Research. 2003. Vol. 26(1). Pp. 43–46. DOI: 10.1007/bf03179930.
28. Heo M.Y., Sohn S.J., Au W.W. Anti-genotoxicity of galangin as a cancer chemopreventive agent candidate // Mutation Research/Reviews in Mutation Research. 2001. Vol. 488(2). Pp. 135–150. DOI: 10.1016/s1383-5742(01)00054-0.
29. Rasul A., Millimouno F.M., Ali Eltayb W., Ali M., Li J., Li X. Pinocembrin: A Novel Natural Compound with Versatile Pharmacological and Biological Activities // BioMed Research International. 2013. Vol. 2013. Pp. 1–9. DOI: 10.1155/2013/379850.
30. Lan X., Wang W., Li Q., Wang J. The Natural Flavonoid Pinocembrin: Molecular Targets and Potential Therapeutic Applications // Molecular Neurobiology. 2015. Vol. 53(3). Pp. 1794–1801. DOI: 10.1007/s12035-015-9125-2.
31. Han F., Xiao Y., Lee I.-S. Microbial Transformation of Galangin Derivatives and Cytotoxicity Evaluation of Their Metabolites // Catalysts. 2021. Vol. 11. 1020. DOI: 10.3390/catal11091020.
32. Браславский В.Б., Куркин В.А., Бакулин Б.Т. Сравнительное химическое исследование некоторых видов и гибридных форм *Populus L.*, культивируемых в Сибири // Растительные ресурсы. 1993. Т. 29, вып. 4. С. 77–81.
33. Государственный реестр лекарственных средств. М., 2008. Т. 1. 408 с.

Поступила в редакцию 29 ноября 2022 г.

После переработки 27 февраля 2023 г.

Принята к публикации 27 февраля 2023 г.

Для цитирования: Сухенко Л.Т., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Химический состав и биологические свойства почек *Populus nigra L.* Каспийского региона // Химия растительного сырья. 2023. №3. С. 153–161. DOI: 10.14258/jcrpm.20230312177.

Sukhenko L.T.^{1*}, *Kurashov E.A.*², *Krylova Yu.V.*^{2,3} CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF THE KIDNEYS OF *POPULUS NIGRA L.* OF THE CASPIAN REGION

¹ V.N. Tatishchev Astrakhan State University, ul. Tatishcheva, 20a, Astrakhan, 414056 (Russia), e-mail: sukhenko@list.ru

² Institute of Lake Science of the Russian Academy of Sciences, a separate subdivision of St. Petersburg FIT RAS, ul. Sevastyanova, 9, St. Petersburg, 196105 (Russia)

³ St. Petersburg branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography" ("GosNIORH" named after L.S. Berg), nab. Makarova, 26, St. Petersburg, 199053 (Russia)

The chemical composition of low molecular weight organic compounds (NOS) was studied by chromatography-mass spectrometric analysis of *Populus nigra L.* kidneys. Of the Caspian region and comparative antimicrobial (bactericidal) activity of extractive components with other plants with characteristic antimicrobial properties. The extraction was carried out by percolation in water-alcohol solutions. The study of antimicrobial activity was carried out by the standard CFU method. As a result, 49 compounds were identified, of which 10 remained unidentified. The study of comparative antimicrobial properties of plant extracts showed the complete bactericidal activity of *Populus nigra* kidneys against opportunistic microorganisms and microflora of air and water, in MIC equal to 0.25 micrograms/ml. Therefore, the NOSES isolated from the kidneys of *Populus nigro* of the Caspian region have prospects for further study of antioxidant activity for the preparation of biotechnological drugs and pharmaceutical substances.

Keywords: *Populus nigra*, kidneys, chromatography-mass spectrometric analysis, NOSE, flavonoids, bactericidal activity, pharmaceutical substances.

References

1. Markelov K.A. *Caspium Securitatis: zhurnal kaspiyskoy bezopasnosti*, 2021, no. 1(1), pp. 11–34. (in Russ.).

* Corresponding author.

2. *Flora Nizhnego Povolzh'ya. Razdel'nolepestnyye dvudol'nyye tsvetkovyye rasteniya (Salicaceae – Droseraceae). Glavnyy botanicheskiy sad im. N.V. Tsitsina RAN.* [Flora of the Lower Volga region. Dicotyledonous flowering plants (Salicaceae – Droseraceae). Main Botanical Garden named after. N.V. Tsitsin RAS]. Moscow, 2018, vol. 2-1, 497 p. (in Russ.).
3. Braslavskiy V.B. *Issledovaniye khimicheskogo sostava nekotorykh vidov topolya (Populus L.): dis. ... kand. farm. nauk.* [Study of the chemical composition of some types of poplar (*Populus L.*): dis. ...cand. pharm. Sci.]. Samara, 1994, 133 p. (in Russ.).
4. Braslavskiy V.B., Kurkin V.A., Zhdanov I.P. *Rastitel'nyye resursy*, 1991, vol. 27, no. 2, pp. 77–81. (in Russ.).
5. Braslavskiy V.B., Kurkin V.A., Zapesoch'naya G.G., Bezrukova N.A. *Rastitel'nyye resursy*, 1991, vol. 27, no. 3, pp. 130–134. (in Russ.).
6. Adekenov S.M., Baysarov G.M., Zhabayeva A.N., Suntsova L.P., Dushkin A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 219–226. (in Russ.).
7. Zapesoch'naya G.G., Kurkin V.A., Braslavskiy V.B., Filatova N.V. *Khimiya prirodn'nykh soyedineniy*, 2003, no. 4, pp. 263–266. (in Russ.).
8. Sukhenko L.T. *Dikorastushchiye rasteniya flory yuga rossii kak istochnik tsennykh fitokomponentov s protivo-mikrobnymi i bioregulyatornymi svoystvami.* [Wild plants of the flora of the south of Russia as a source of valuable phytocomponents with antimicrobial and bioregulatory properties]. Moscow, 2017, 304 p. (in Russ.).
9. Sentsov M.F., Braslavskiy V.B., Kurkin V.A. *Rastitel'nyye resursy*, 1997, vol. 33, no. 2, pp. 51–56. (in Russ.).
10. Astaf'yeva O.L., Sukhenko L.T., Kurashov E.A., Krylova J.V., Egorov M.A., Bataeva Y.V., Baimukhambetova A.S. *Indian journal of pharmaceutical sciences: Indian Pharmaceutical Association*, 2018, vol. 80, pp. 434–441. DOI: 10.4172/pharmaceutical-sciences.1000376.
11. Takha T.V., Nazhmutdinova D.K. *Russkiy meditsinskiy zhurnal*, 2009, vol. 17 (356), pp. 1072–1074. (in Russ.).
12. Vichkanova S.A., Tolkachev O.N., Martynova R.G., Arzamastsev Ye.V. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 1982, vol. 16 (12), pp. 107–112. (in Russ.).
13. Vichkanova S.A., Kolkhir V.K., Krutikova N.M., Adgina V.V., Fateyeva T.V., Sokol'skaya T.A. *Trudy VILAR «Khimiya, tekhnologiya, meditsina».* [Proceedings of VILAR “Chemistry, technology, medicine”]. Moscow, 2000, pp. 300–309. (in Russ.).
14. *Rastitel'nyye resursy SSSR: Tsvetkovyye rasteniya, ikh khimicheskiy sostav, ispol'zovaniye; semeystva Paeoniaceae - Thymelaeaceae.* [Plant resources of the USSR: Flowering plants, their chemical composition, use; family Paeoniaceae - Thymelaeaceae]. Leningrad, 1986, 336 p. (in Russ.).
15. Ponomarev V.D. *Ekstragirovaniye lekarstvennogo syr'ya.* [Extraction of medicinal raw materials]. Moscow, 1976, 202 p. (in Russ.).
16. Patent 1857313 (RU). 2009. (in Russ.).
17. Kaukhova I.Ye. *Rastitel'nyye resursy*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 82–91. (in Russ.).
18. Batayeva Yu.V., Kurashov Ye.A., Krylova Yu.V. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2014, no. 9, pp. 59–68. (in Russ.).
19. Krylova Yu.V., Kurashov Ye.A., Mitrukova G.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 79–88. DOI: 10.14258/jcprm.2016021189. (in Russ.).
20. Kurashov Ye.A., Krylova Yu.V., Mitrukova G.G. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2012, no. 6, pp. 107–116. (in Russ.).
21. Isayeva Ye.V., Lozhkina G.A., Ryazanova T.V., Vyalkov A.I., Domrachev D.V., Tkachev A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 1, pp. 63–67. (in Russ.).
22. Tkachev A.V. *Issledovaniye letuchikh veshchestv rasteniy.* [Study of plant volatiles]. Novosibirsk, 2008, 969 p. (in Russ.).
23. Zolot'kh D.S., Pozdnyakov D.I., Glushko M.P., Dayronas Zh.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 3, pp. 27–47. DOI: 10.14258/jcprm.20220310518. (in Russ.).
24. Murav'yeva D.A., Samylina I.A., Yakovlev G.P. *Farmakognoziya, 4-ye izd.* [Pharmacognosy, 4th ed.]. Moscow, 2002, 627 p. (in Russ.).
25. Kurkin V.A., Braslavskiy V.B., Zapesoch'naya G.G. *Zhurnal fizicheskoy khimii*, 1994, vol. 68, no. 10, pp. 1816–1818. (in Russ.).
26. Ahmed-Belkacem A., Pozza A., Muñoz-Martínez F., Bates S.E., Castans S., Gamarro F., Di Pietro A., Pérez-Victoria J.M. *Cancer Research*, 2005, vol. 65(11), pp. 4852–4860. DOI: 10.1158/0008-5472.can-04-1817.
27. Lee S., Kim K.S., Park Y., Shin K.H., Kim B.-K. *Archives of Pharmacal Research*, 2003, vol. 26(1), pp. 43–46. DOI: 10.1007/bf03179930.
28. Heo M.Y., Sohn S.J., Au W.W. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 2001, vol. 488(2), pp. 135–150. DOI: 10.1016/s1383-5742(01)00054-0.
29. Rasul A., Millimouno F.M., Ali Eltayb W., Ali M., Li J., Li X. *BioMed Research International*, 2013, vol. 2013, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2013/379850.
30. Lan X., Wang W., Li Q., Wang J. *Molecular Neurobiology*, 2015, vol. 53(3), pp. 1794–1801. DOI: 10.1007/s12035-015-9125-2.
31. Han F., Xiao Y., Lee I.-S. *Catalysts*, 2021, vol. 11, 1020. DOI: 10.3390/catal11091020.
32. Braslavskiy V.B., Kurkin V.A., Bakulin B.T. *Rastitel'nyye resursy*, 1993, vol. 29, no. 4, pp. 77–81. (in Russ.).
33. *Gosudarstvennyy reyestr lekarstvennykh sredstv.* [State register of medicines]. Moscow, 2008, vol. 1, 408 p. (in Russ.).

Received November 29, 2022

Revised February 27, 2023

Accepted February 27, 2023

For citing: Sukhenko L.T., Kurashov E.A., Krylova Yu.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 153–161. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230312177.

