

УДК 504.064.36

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ АНТРОПОГЕННОМУ ВЛИЯНИЮ

Н.А. Соловьева, С.Д. Хижняк, П.М. Пахомов

Тверской государственный университет  
*Кафедра физической химии*

С помощью метода УФ спектроскопии с использованием реактива Фолина-Чокальтеу определено содержание фенольных соединений в образцах листьев подорожника большого и крапивы двудомной, находящихся под воздействием выбросов промышленных предприятий города Твери, а также образцах тех же видов растений, не подверженных прямому влиянию источников загрязнения. Установлено, что количество растительных фенолов зависит от места сбора. Наибольшее содержание фенольных соединений, как показателей стресса растений, выявлено в образцах, собранных у предприятий, характеризующихся наибольшим химическим разнообразием загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** подорожник большой, крапива двудомная, промышленные предприятия города Твери, загрязняющие вещества, фенольные соединения, УФ спектроскопия.

DOI 10.26456/vtchem2019.2.6

В Тверской области насчитывается около 408 предприятий, выбрасывающих загрязняющие вещества в атмосферный воздух. Промышленные предприятия расположены по всей территории городов Тверского региона, образуя промышленные зоны вблизи жилых кварталов. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха городов области являются предприятия энергетики, железнодорожного машиностроения, промышленности пластмассовых изделий, стекловолоконных соединений, стеклопластиков и строительной промышленности [1].

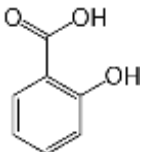
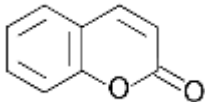
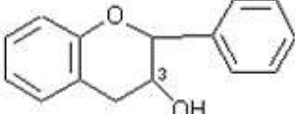
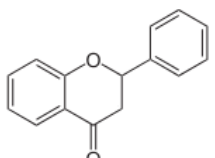
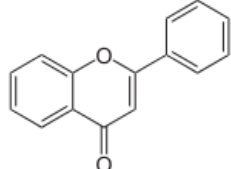
Растения в связи с прикрепленным образом жизни в наибольшей степени подвержены техногенному воздействию. При сохранении внешне неизменного вида в растительном организме происходят значительные изменения биохимического состава и физиологических процессов [2]. Вследствие этого растения могут служить биоиндикаторами состояния среды места их произрастания [3].

В условиях стресса, при воздействии различных экологических факторов, в том числе антропогенного характера, важнейшим механизмом устойчивости растений является активизация системы

антиоксидантной защиты, в которую входят фенольные соединения [4]. Увеличение содержания полифенолов в растительном организме является предшественником видимых хлорозов и некрозов, что даёт возможность оценить реакцию растения на действие неблагоприятных факторов среды ещё на ранних стадиях до появления у него видимых изменений в форме хлорозов и некрозов [5]. Согласно [6] отдельные группы фенольных соединений различаются по спектральным характеристикам (таблица 1).

Таблица 1.

УФ спектральные характеристики некоторых фенольных соединений

Группа соединений	Основной максимум, нм
<p>Оксибензойные кислоты</p> 	290 – 305
<p>Кумарины</p> 	310 – 350
<p>Катехины</p> 	270 – 280
<p>Флаваноны</p> 	275 – 290, 290 – 330
<p>Флавоны</p> 	310 – 350

Среди спектроскопических методов количественного определения фенольных соединений в растительных образцах, широко используется методика на основе реакции полифенолов в щелочной среде (рН=11,4) с гетерополикомплексом структуры Доусона – реактивом Фолина-Чокальтеу [7]. Недостатком данного метода является неизбирательное действие реагента по отношению к большому числу

восстановителей, таких как, например, аскорбиновая кислота и другие органические кислоты, сахара. Однако этот недостаток не является мешающим в данной работе поскольку, как было указано выше, экологическое неблагополучие среды будет отражаться в большей мере на концентрации фенольных соединений. Таким образом, основная цель работы состояла в том, чтобы установить и исследовать изменение содержания веществ фенольной природы в зависимости от условий произрастания растительных образцов.

В качестве анализируемых объектов в настоящей работе были выбраны образцы подорожника большого и крапивы двудомной, собранные в период 2015–2017 гг. на территориях, находящихся под воздействием выбросов промышленных предприятий, транспорта, а также образцы, не подверженные прямому влиянию источников загрязнения (табл. 2 и 3). Подорожник большой и крапива двудомная являются довольно распространёнными видами многолетних лекарственных растений, которые встречаются в городе даже в сильно загрязнённых районах. Помимо этого, выбор указанных растений обусловлен наличием в их химическом составе большого количества фенольных соединений, таких как флавоноиды, дубильные вещества, фенольные кислоты [8].

Таблица 2.

Места сбора подорожника большого

	№ образца	Место сбора [9]
Образцы, собранные в 2015 году	I a	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II a	ТЭЦ-1 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	III a	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV a	ООО «Тверской лакокрасочный завод», г. Тверь
	V a	ОАО «Тверской полиграфический комбинат», г. Тверь
Образцы, собранные в 2016 году	I b	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II b	АО «Тверского комбината строительных материалов №2», г. Тверь
	III b	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV b	ООО «Тверской лакокрасочный завод», г. Тверь
	V b	АО «Сибур-ПЭТФ», г. Тверь
	VI b	Деревня Кузнецы, Максатихинский район
Образцы, собранные в 2017 году	I c	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II c	Площадь Гагарина, г. Тверь
	III c	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV c	Бобачёвская роща, г. Тверь
	V c	ПГТ Селижарово, дачный участок
	VI c	Аптечный образец, АО «Красногорсклексредства» (Россия)

Кроме собранных образцов были изучены аптечные формы листьев подорожника большого (*Plantaginis majoris folia*) и листьев крапивы (*Urticae folia*) компании АО «Красногорсклексредства» (Россия).

Таблица 3.

Места сбора крапивы двудомной

	№ образца	Место сбора [9]
Образцы, собранные в 2015 году	I a	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II a	АО «Тверского комбината строительных материалов №2», г. Тверь
	III a	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV a	ООО «Тверской лакокрасочный завод», г. Тверь
	V a	АО «Сибур-ПЭТФ», г. Тверь
Образцы, собранные в 2016 году	I b	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II b	АО «Тверского комбината строительных материалов №2», г. Тверь
	III b	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV b	ООО «Тверской лакокрасочный завод», г. Тверь
	V b	АО «Сибур-ПЭТФ», г. Тверь
	VI b	Деревня Кузнецы, Максатихинский район
Образцы, собранные в 2017 году	I c	ОАО «Тверской вагоностроительный завод», г. Тверь
	II c	Площадь Гагарина, г. Тверь
	III c	ТЭЦ-3 (ООО «Тверская генерация»), г. Тверь
	IV c	Бобачёвская роща, г. Тверь
	V c	Аптечный образец, АО «Красногорсклексредства» (Россия)

Сбор, сушка и хранение анализируемых растительных образцов производили в соответствии с правилами сбора и заготовки лекарственных растений [10]. Суммарное содержание растворимых полифенолов определяли по методу Фолина и Чокальтеу в модификации Синглетона и Росси [11]. Метод основан на реакции фенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу. Реактив состоит из солей фосфорновольфрамовой и фосфорномолибденовой кислот, которые в щелочной среде при взаимодействии с фенолами и полифенолами восстанавливаются с образованием окрашенных в синий цвет комплексов.

Для определения суммы полифенолов были приготовлены экстракты подорожника и крапивы на воде и 80%-м этиловом спирте. Соотношение навески сухого растительного сырья и общего объёма экстракта составляло соответственно 1:100.

Предварительно были записаны электронные спектры водных и спиртовых экстрактов исследуемых образцов в разбавлении 1:2000.

Спектры регистрировали в диапазоне 200–800 нм в кварцевых кюветах с толщиной поглощающего слоя 10 мм.

В проводимой по методу Фолина-Чокальтеу реакции применяли реактив Фолина-Чокальтеу фирмы «Синтакон». Абсорбция экстрактов на водной основе при 750 нм и абсорбция экстрактов на 80%-м этиловом спирте при 765 нм пропорциональны содержанию фенольных соединений. В качестве полифенольного стандарта использовали галловую кислоту. По данным, полученным с помощью спектрометра «Evolution Array» фирмы «Thermo Scientific» осуществляли дальнейший расчёт.

Содержание внутриклеточных фенольных соединений в экстрактах рассчитывали по формуле:

$$F = (C_F \times V_{\text{экстракта}}) / (m \times 1000),$$

где  $F$  – общее содержание внутриклеточных фенольных соединений, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса;

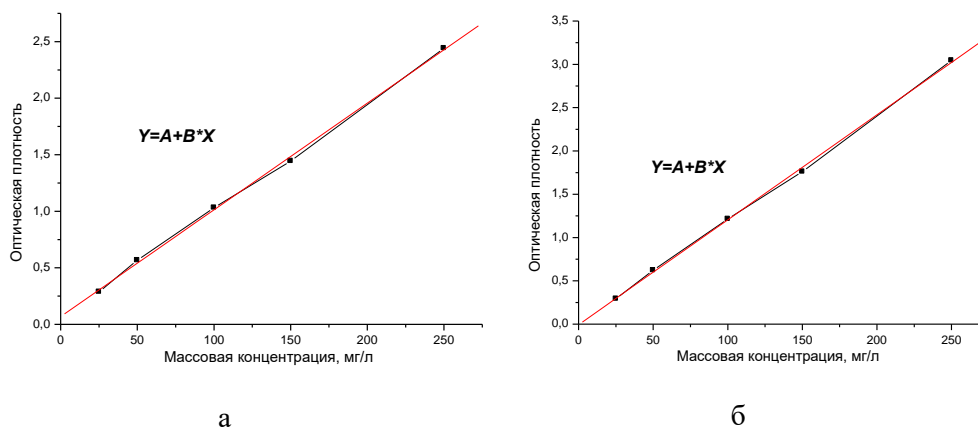
$C_F$  – концентрация фенольных соединений, рассчитанная по калибровочной кривой, исходя из оптической плотности реакционных смесей, мг-экв галловой кислоты/л;

$V_{\text{экстракта}}$  – общий объём экстракта, мл;

$m$  – масса навески, г;

1000 – коэффициент перевода л в мл (объёма экстракта).

Расчёт величины  $C_F$  производился, основываясь на линейной зависимости между данными, полученной в программе Origin при построении калибровочной кривой (рис. 1). При этом коэффициенты корреляции составили для водного и 80% спиртового растворов галловой кислоты соответственно:  $R=0,99945$  и  $R=0,99961$ .



Р и с . 1 . Калибровочные кривые по галловой кислоте: а) водный раствор;  
б) раствор 80% этилового спирта

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 2 и 3 приведены электронные спектры поглощения подорожника и крапивы 2017 года сбора. Максимумы поглощения образцов других годов сбора находятся приблизительно в тех же диапазонах длин волн.

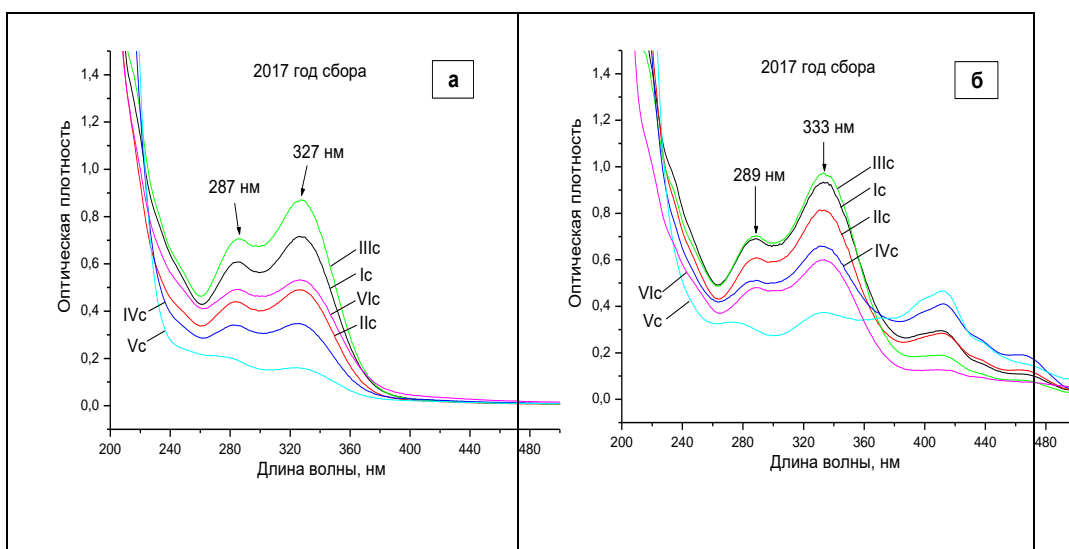


Рис. 2. Электронные спектры поглощения водных (а) и спиртовых экстрактов (б) образцов подорожника большого (см. табл. 2)

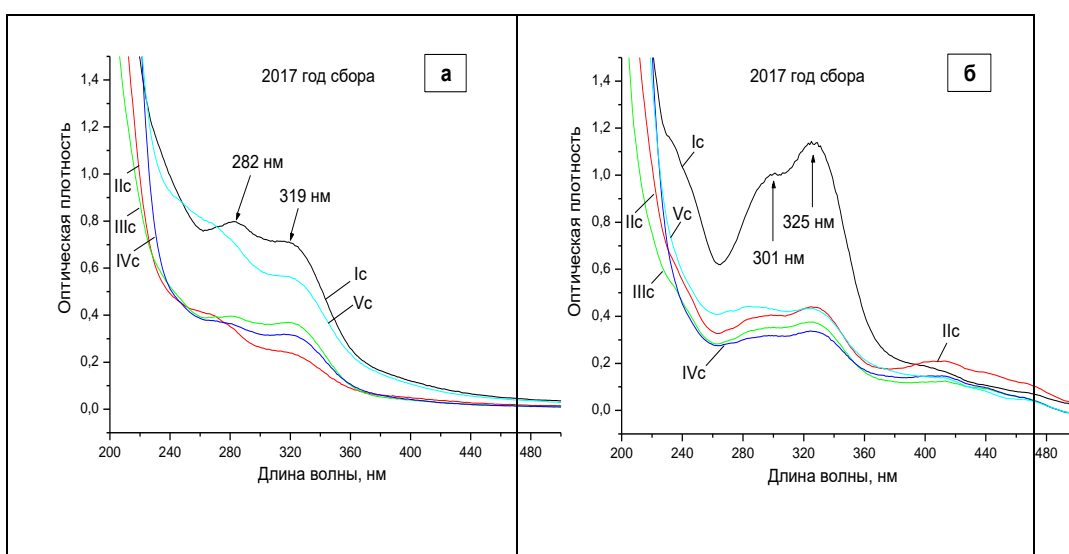


Рис. 3. Электронные спектры поглощения водных (а) и спиртовых экстрактов (г) образцов крапивы двудомной (см. табл. 3)

В случае водных экстрактов подорожника эти значения колеблются в пределах 284–287 нм и 327–328 нм, для спиртовых – 289–290 нм и 333–335 нм; для водных экстрактов крапивы – 279–282 нм и 319–322, для спиртовых – 299–301 нм 325–329 нм. Появление полос поглощения в указанных диапазонах подтверждает присутствие в химическом составе изучаемых растений веществ фенольной природы (табл.1): флаванонов (два максимума в областях длин волн: 279–290 и 319–335), оксибензойных кислот (289–301), кумаринов и флавонов (319–335).

Рассчитанная сумма фенольных соединений для образцов подорожника и крапивы представлена в табл. 4 и 5.

Таблица 4.

Содержание фенольных соединений в образцах подорожника большого

	Номера образцов (см. табл.2)	Оптическая плотность водных экстрактов при длине волны 750 нм	Рассчитанное содержание фенольных соединений водных экстрактов, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса	Оптическая плотность экстрактов на 80%-м этаноле при длине волны 765 нм	Рассчитанное содержание фенольных соединений спиртовых экстрактов, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса
Образцы, собранные в 2015 году	I а	2,77	28,61	3,84	31,74
	II а	2,10	21,55	2,53	20,90
	III а	2,87	29,64	3,33	27,51
	IV а	3,38	35,08	3,60	29,75
	V а	2,91	30,12	3,11	25,69
Образцы, собранные в 2016 году	I б	2,29	23,49	2,80	23,18
	II б	2,74	28,30	3,20	26,48
	III б	3,82	39,72	3,29	27,17
	IV б	2,51	25,87	3,60	29,77
	V б	2,19	22,44	2,78	23,00
	VI б	3,01	31,20	3,37	27,86
Образцы, собранные в 2017 году	I с	2,55	26,29	2,70	22,35
	II с	1,87	19,07	2,41	19,97
	III с	3,17	32,89	2,77	22,91
	IV с	1,40	14,11	1,85	15,29
	V с	0,75	7,18	1,15	9,52
	VI с	1,93	19,70	2,09	17,28

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что реакция каждого из анализируемых растений на отдельный источник загрязнения индивидуальна. Так, показатель концентрации полифенолов крапивы, собранной у Вагоностроительного завода (образцы I а, I б, I с) в период с 2015 по 2017 годы, увеличивается как для экстрактов, приготовленных на воде, так и на 80%-м этаноле. В то

время как для подорожника максимальное значение для двух экстрактов образцов I а–с отмечено 2015 годом сбора.

Т а б л и ц а 5.  
Содержание фенольных соединений в образцах крапивы двудомной

	Номера образцов (см. табл. 3)	Оптическая плотность водных экстрактов при длине волны 750 нм	Рассчитанное содержание фенольных соединений водных экстрактов, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса	Оптическая плотность экстрактов на 80%-м этаноле при длине волны 765 нм	Рассчитанное содержание фенольных соединений спиртовых экстрактов, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса
Образцы, собранные в 2015 году	I а	0,56	5,22	1,30	10,79
	II а	1,20	11,98	1,62	13,44
	III а	2,18	22,37	2,74	22,62
	IV а	2,73	28,15	3,40	28,13
	V а	2,07	21,20	2,28	18,85
Образцы, собранные в 2016 году	I б	1,17	11,64	1,55	12,81
	II б	1,27	12,75	2,14	17,73
	III б	1,41	14,20	1,95	16,15
	IV б	1,92	19,56	2,42	20,05
	V б	1,19	11,83	1,92	15,88
Образцы, собранные в 2017 году	VI б	3,26	33,77	3,68	30,41
	I с	2,29	23,50	2,98	24,63
	II с	0,77	7,46	1,30	10,78
	III с	1,26	12,59	1,21	10,02
	IV с	1,07	10,61	1,11	9,21
	V с	1,94	19,76	1,60	13,21

Уменьшение содержания фенольных соединений в экстрактах крапивы двудомной прослеживается для образцов III а–с и IV а–б. В случае подорожника изменение концентрации в рассматриваемом периоде более хаотично. Поэтому важным этапом в системе экологического мониторинга является грамотный выбор объекта-биоиндикатора.

Сумма полифенолов оказывается различной при переходе от одного растворителя к другому, хотя в работе были использованы близкие по полярности вещества. Данный факт объясняется отличающейся химической структурой экстрагируемых фенольных соединений в зависимости от используемого растворителя. Основываясь на усреднённых значениях содержания фенольных соединений между водными и спиртовыми экстрактами по каждому из промышленных источников загрязнения, можно заключить, что наибольший стресс оба растения получают от выбросов лакокрасочного завода и ТЭЦ-3. Кроме того, на подорожник также оказывает сильное



неблагоприятное влияние загрязнения с Вагоностроительного завода. Эти предприятия в сравнении с другими характеризуются наибольшим химическим разнообразием загрязняющих веществ (табл. 6).

Т а б л и ц а 6 .  
Выбросы некоторых промышленных предприятий города Твери

Отрасль промышленности	Промышленные предприятия	Основные загрязнители
Машиностроение	ОАО «Тверской вагоностроительный завод»	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, CO, CO <sub>2</sub> , CaO, MgO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , соединения свинца, хрома, меди, цинка, а также цианиды [12], компоненты окрасочных материалов: ацетон, бензол, толуол, ксилол, метилэтилкетон и др. [13]
Энергетика	ТЭЦ-1	H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> , CO [14]
	ТЭЦ-3	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , CO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , твёрдые отходы (золы, шлаки (пентаоксид ванадия (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), а также Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O, CaO, TiO <sub>2</sub> и другие оксиды)) [14, 15]
Производство строительных материалов	АО «Тверского комбината строительных материалов №2»	Пыль (CaO, SiO <sub>2</sub> ) [16]
Химическая промышленность	АО «Сибур-ПЭТФ»	Обрезки, крошки отходов ПЭТФ, этиленгликоль [17]
	ООО «Тверской лакокрасочный завод»	Ацетон, бутанол, бутилацетат, этилацетат, ксилол, толуол, этанол и др. органические растворители; соединения свинца, цинка, хрома (в зависимости от цвета пигмента) [18]
Полиграфия	ОАО «Тверской полиграфический комбинат»	Бензин, толуол, компоненты красок [19]: ацетон, бутанол, бутилацетат, этилацетат, ксилол, этанол и др. органические растворители; соединения свинца, цинка, хрома (в зависимости от цвета пигмента) [18]

Образцы подорожника и крапивы, собранные в Бобачёвской роще, демонстрируют хорошие результаты относительно стресса растений. Показатели суммы фенольных веществ довольно низкие в сравнении с другими образцами. Самые низкие показатели при рассмотрении всех образцов за весь период принадлежат образцам подорожника большого, произраставшим на дачном участке ПГТ Селижарово в 2017 году (крапива в этом месте не собиралась). Достаточно высокое количество фенольных соединений обнаружили как в крапиве, так и в подорожнике из деревни Кузнецы Максатихинского района (2016 год). Территория, где произрастали объекты исследования, не подвержена прямому воздействию

источников загрязнения. Однако, в соответствии с государственным докладом о состоянии и об охране окружающей среды в Тверской области в 2017 году (табл. 7) Максатихинский район находится под риском загрязнения в большей степени, чем Селижаровский район.

Таблица 7.

Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух по городам и районам Тверской области\* за 2015–2017 гг. (тонн) [1]

Города/районы	Количество предприятий, имеющих выбросы загрязняющих веществ	Выброшено в атмосферу, тонн		
		2015	2016	2017
г. Тверь	74	5427	7659	7561
Максатихинский район	8	834	830	814
Селижаровский район	9	280	245	249

\*приведена выдержка из оригинальной таблицы

Содержание фенольных соединений аптечных образцов подорожника близко по значению образцов с площади Гагарина (2017 год сбора). Вероятно, сбор лекарственного сырья осуществлялся на месте, подверженному неблагоприятному влиянию.

По результатам проведённой работы можно сделать следующие выводы:

- высшие растения обладают высокой чувствительностью к антропогенному влиянию, что выражается в изменении их биохимического состава, в том числе содержания фенольных соединений;
- реакция каждого растений на отдельный источник загрязнения зависит от видовой принадлежности, и, зная восприимчивость конкретного вида растения к определённому источнику загрязнения, можно оценивать экологическое состояние выбранной местности;
- в системе мониторинга загрязнения окружающей среды с успехом могут быть использованы удобные и распространённые в химическом анализе спектрометры для УФ и видимой области спектра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках выполнения государственных работ в сфере научной деятельности (проект №4.5508.2017/БЧ) на оборудовании Центра коллективного пользования Тверского государственного университета.

### Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Тверской области в 2017 году. Тверь: Министерство природных ресурсов и экологии Тверской области, 2018. 156 с.
2. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 244 с.
3. Степановских А.С. Экология. Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 703 с.
4. Alonso R., Elvira S., Castillo F.J., Gimeno B. S. // Plant, Cell and Environment, 2001. V. 24. P. 905–916
5. Федорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М.: ВЛАДОС, 2001. 288 с.
6. Harborne J. B. Biochemistry of Phenolic Compounds. New York: Academic Press, 1964 618 p.
7. Blainski A., Lopes G.C., Palazzo de Mello J.C.P. // Molecules. 2013. V.18. P. 6852–6865
8. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / сост. И. Путырский, В. Прохоров. Мн.: Книжный Дом; М.: Махаон, 2000. 656 с.
9. Справочник промышленных предприятий Тверской области. Министерство промышленности и торговли Тверской области – Тверь, 2018. 369 с.
10. Мазнев Н.И. Энциклопедия лекарственных растений. 3-е изд., испр. и доп. М.: Мартин, 2004. 496 с.
11. Singleton V.L., Rossi J.A. // American Journal of Enology and Viticulture, 1965, vol. 16(3), pp. 144–158.
12. Бондалетова Л.И. Промышленная экология: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2002. 168 с.
13. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях железнодорожного транспорта (расчетным методом). Утверждена Министерством транспорта Российской Федерации 15 сентября 1992 г. – Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2008. 148 с.
14. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных: Методическое пособие по выполнению практических занятий по курсу «Промышленная экология» для студентов специальности 320700 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» / Сост. Л.И. Бондалетова, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. Томск: Изд. ТПУ, 2000. 39 с.
15. Учебное пособие для хим., хим-технол. и биол. спец. вузов / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – 2-е изд, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
16. Домокеев А.Г. Строительные материалы: Учебник для строительных вузов, 2-е изд. перераб. и доп. М: Высшая школа, 1989 г., 495 с.

17. Керницкий В.И, Микитаев А.К. Краткие основы производства и переработки полиэтилентерефталата (ПЭТ). М.: Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 208 с.
18. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе: Методическое пособие по выполнению практических заданий для студентов специальности 320700, 250100 / Сост. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. Томск: Изд. ТПУ, 2002. 41 с.
19. Правила по охране труда для полиграфических предприятий. Утверждены Приказом Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций от 4 декабря 2002 года. № 237.

## THE CONTENT DETERMINATION OF PLANT PHENOLIC COMPOUNDS SUBJECTED TO ANTHROPOGENIC IMPACT

N. A. Solovieva, S.D. Khizhnyak, P.M. Pakhomov

Tver State University

Use the UV spectroscopy and the Folin-Ciocalteu method the content of phenolic compounds have been identified in the common plantain and stinging nettle samples, which were under the influence of emissions of Tver industrial enterprises, as well as samples of the same plants species that were not directly affected by sources of pollution. It is established that the plant phenols quantity depends on the place of collection. The highest content of phenolic compounds as indicators of plant stress was found in samples collected from enterprises with the largest chemical pollutants variety.

**Keywords:** *common plantain, stinging nettle, Tver industrial enterprises, pollutants, phenolic compounds, UV spectroscopy.*

*Об авторах:*

СОЛОВЬЕВА Наталья Алексеевна – аспирант кафедры физической химии химико-технологического факультета ТвГУ, e-mail: [nattinata@mail.ru](mailto:nattinata@mail.ru)

ХИЖНЯК Светлана Дмитриевна – кандидат химических наук, вед. инженер лаборатории спектроскопии ЦКП ТвГУ, e-mail: [sveta\\_khizhnyak@mail.ru](mailto:sveta_khizhnyak@mail.ru)

ПАХОМОВ Павел Михайлович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии ТвГУ, e-mail: [pavel.pakhomov@mail.ru](mailto:pavel.pakhomov@mail.ru)

Поступила в редакцию 3 июня 2019 года.