

УДК 662.73.012

## **АНТИОКСИДАНТЫ В ЛИПИДАХ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ТОРФОВ**

© *Н.В. Юдина\**, *А.В. Савельева*

*Институт химии нефти СО РАН, пр. Академический, 4, Томск, 634021 (Россия,) e-mail: anna@ipc.tsc.ru*

В работе приведены результаты исследования антиоксидантной активности липидов, выделенных из растений-биопродуцентов и торфов, отобранных из залежи на отрогах Васюганского болота. Анализ антиоксидантов (АО) проводили газометрическим методом с использованием модельной реакции инициированного окисления кумола. Показано, что в липидах торфов присутствует два типа ингибиторов окисления, отличающиеся между собой реакционной способностью и содержанием антиоксидантов. В однотипных фускум-торфах с увеличением глубины залегания индекс расходования АО изменяется незначительно. Для торфов с высокой степенью разложения наблюдается снижение АО второго типа.

Проведенные эксперименты по гумификации растений в торфяной залежи в течение 2 лет подтвердили новообразование АО второго типа, являющиеся результатом микробиологической деятельности. Содержание липидов в растениях после 2 лет гумификации в торфяной залежи незначительно повысилось, при этом увеличивается количество АО, превышающее их содержание в липидах торфов верхнего горизонта. Глубина залегания и вид торфа влияет на содержание АО и соотношение О/С, о чем свидетельствует линейная корреляционная зависимость. Взаимосвязь между антиоксидантной активностью липидов и соотношением С/Н не обнаружена.

*Ключевые слова:* растения, торф, гумификация растений, липиды, природа антиоксидантов.

### **Введение**

Избыточное содержание кислорода и его активных радикалов вызывает радикально-цепные процессы окисления. Природные антиоксиданты (АО) широко распространены в биосфере и оказывают влияние на процессы биохимической трансформации органического вещества, обеспечивая устойчивость к окислению. К наиболее эффективным ингибиторам относятся соединения с функциональной группой, имеющей подвижный атом водорода (фенолы, ароматические амины, аминифенолы, пигменты и другие вещества), способные переводить свободные радикалы в неактивную форму [1–4]. Под действием свободных радикалов соединения, имеющие сравнительно слабые О–Н и N–H связи, вступают во взаимодействие с пероксидными радикалами, обрывая основную цепь окисления [5, 6].

В каустобиолитах (торфах, бурых углях) эту функцию выполняют липиды, фенольные соединения, гуминовые кислоты [7–9]. Окислительные процессы осуществляются в торфообразовательном процессе при участии ферментов и микроорганизмов. В верхнем торфогенном слое при доступе кислорода микроорганизмы разрушают в первую очередь углеводы: сахара, целлюлозу, пектины. Процессы ферментативного окисления ОСН<sub>3</sub>-групп и дегидратация протогуминов способствуют накоплению фенольных групп, определяющих антиоксидантные свойства органических веществ [10].

Химический состав липидов весьма разнообразен и зависит от способа их выделения. В липидах содержатся соединения, проявляющие антиоксидантную способность (жирные кислоты, спирты, пигменты, азотистые соединения и т.д.) [11]. При повышенном поступлении кислорода и избытке одноэлектронных восстановителей образуются радикальные и перекисные соединения, окисляющие любые углеводородные системы.

---

*Юдина Наталья Васильевна* – заведующая лабораторией, кандидат технических наук, e-mail: natal@ipc.tsc.ru  
*Савельева Анна Викторовна* – старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, e-mail: anna@ipc.tsc.ru

Чаще всего подвергаются окислению липиды, содержащие ненасыщенные жирные кислоты. Экзиматическое или аутоокисление представляет собой цепные свободно-радикальные реакции. Этому

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

способствуют содержащиеся в них сенсбилизаторы в виде кетонов, ароматических соединений, хлорофиллов. Липидная пероксидация инициирует целый каскад неблагоприятных химических превращений, вызывающих разрушение легкоокисляемых соединений с двойными связями. Сдерживающим фактором в разрушении липидов является присутствие в них ингибиторов радикально-цепных процессов окисления. Антиоксиданты выполняют важную роль в жизнедеятельности растений, обеспечивая в дальнейшем сохранность и биологическую активность липидов торфа [23].

Газометрическим методом с использованием кинетической модели инициированного окисления кумола обнаружено присутствие в липидах, выделенных из растений, торфов, сапропелей, несколько типов антиоксидантов, различающихся периодом индукции и константами скоростей ингибирования процесса окисления [12].

Для оценки интенсивности свободнорадикальных реакций, определения антиоксидантной активности (АОА) широко применяются различные методы [13]: хемиллюминесценции [14, 15], спектрофотометрии [16, 17], электрохимические [18, 19], газометрический [6, 20] и т.д. Преимуществом газометрического метода является возможность количественной оценки антиоксидантов в сложной многокомпонентной смеси без их предварительного выделения и разделения до индивидуального состояния и высокий порог чувствительности  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  моль/л по концентрации анализируемого АО.

Цель данной работы – исследование антиоксидантной способности липидов в системе «торфообразователи – гумифицированные растения – торф».

### Экспериментальная часть

В работе исследовали липиды, выделенные из разных видов торфов, растений-торфообразователей (*Eriophorum*, *Carex caespitosa*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum*) и гумифицированных растений. Образцы торфов отобраны из сосново-кустарничково-сфагновой залежи отрога Васюганского болота. Характеристика торфов приведена в таблице 1. Моховые виды торфа относятся к низкосолевым, малоразложившимся (степень разложения А 0–5%), рН 3.5–4.2. В сосново-пушицевом и осоковом торфах увеличивается степень разложения, зольность и снижается содержание липидов.

Модельные эксперименты по разложению торфообразователей были проведены в естественных условиях торфяного профиля на глубине 10–15 см в течение 2 лет методом частично изолированных проб в капсулах из стеклоткани, размером 15–15 см. Окислительно-восстановительный потенциал торфяной залежи в зоне закладки изменялся от Eh 500 до 700 мВ, рН среды составлял 3.6–4.3. После двух лет капсулы с растениями-торфообразователями извлекли из торфяной залежи.

Экстракцию липидов осуществляли дважды смесью растворителей: хлороформ – этиловый спирт в соотношении 1 : 1 при комнатной температуре. Полученный экстракт фильтровали, экстрагент отгоняли на роторном испарителе, липиды высушивали в вакуумном шкафу. Элементный состав липидов определяли на элементном анализаторе *Vario el cube* (Германия).

Анализ АО проводили на высокоточном газометрическом устройстве для измерения микрорасхода газа в модельной реакции инициированного окисления кумола. Его принцип действия основан на автоматической компенсации перепада давления, возникающего в процессе поглощения кислорода реакционной смесью, эквивалентным количеством кислорода в виде отдельных пузырьков определенного объема, являющегося величиной постоянной, зависящей от диаметра капилляра и величины поверхностного натяжения. В работе использовали азоизобутиронитрил, кумол, очищенные по методикам, приведенным в [21]. Липиды растворяли в 10 мл кумола. Эксперимент проводили при температуре 60 °С и перемешивании. Количество поглощенного кислорода регистрировали с помощью автоматизированной газометрической установки. Зависимость количества поглощенного кислорода от времени реакции представляли в виде интегральной кривой. Содержание  $C_{АО}$  определяли из соотношения (1):

$$C_{АО} = W_i \cdot \tau / P, \quad (1)$$

где  $W_i$  – скорость инициирования,  $6.8 \cdot 10^{-8}$  моль/л·с;  $\tau$  – период индукции, с;  $P$  – концентрация анализируемой пробы, кг/л. Конечную скорость окисления определяли по тангенсу угла наклона кинетической кривой в неингибированном режиме.

Таблица 1. Общая характеристика торфов

Вид торфа	Глубина залегания, см	Зольность, % мас.	А, %	рН	Содержание липидов, % мас.
Фускум В	0–50	2.7	0–5	3.5	2.6
Фускум В	50–75	2.0	0–5	3.5	1.7
Магелланикум В	75–100	2.1	0–5	4.0	1.5
Магелланикум В	100–150	2.3	10	4.2	1.4
Сосново-пушицевый В	150–200	6.0	50–55	6.0	0.7
Осоковый Н	200–250	4.3	50–55	6.0	0.2

Примечание. В – верховой, Н – низинный.

Значение роли АО в трансформации липидов торфа оценивали по изменению величины индекса расходования, используя соотношение

$$I = (AO^2 - AO^1) \cdot 100 / AO^2, \quad (2)$$

где  $AO^1$  – содержание антиоксидантов в липидах растений;  $AO^2$  – содержание антиоксидантов в липидах торфов.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведена кинетическая кривая поглощения кислорода кумолом в присутствии липидов *Sph. Fuscum*. Зависимость количества поглощенного кислорода от времени представлена в виде интегральной кинетической кривой, разделенной на 2 участка: участок линейного обрыва цепи и участок неингибированного окисления. В полулогарифмических координатах первый участок представляет собой прямую линию с определенным периодом индукции  $\tau$ . Константы скорости окисления определяются по полулогарифмической анаморфозе кинетической кривой поглощения кислорода кумолом в присутствии липидов торфа. Значение  $K_7$  рассчитывали исходя из параметров соответствующих линейных участков кинетической кривой.

Анализ антиоксидантных свойств липидов торфов проведен в сравнении с кинетическими параметрами реакции инициированного окисления кумола в присутствии липидов растений биопродуцентов.

Кинетические параметры приведены в таблицах 2 и 3. В реакции окисления кумола сначала расходуются более реакционноспособные АО. Как правило, в течение 90 мин происходит полное расходование АО и кинетическая кривая выходит либо на неингибированный режим со скоростью окисления 100–110 мкл/мин, либо на инициирующий режим со скоростью окисления выше 110 мкл/мин. В последнем случае инициаторами окисления выступают другие типы функциональных групп липидов.

Большей антиоксидантной способностью характеризуются липиды *Eriophorum u Carex caespitosa*. В липидах сфагновых мхов снижается количество АО и константы скорости ингибирования.

Кинетические кривые инициированного окисления кумола в присутствии липидов торфов имеют два периода индукции с разными скоростями окисления, за исключением липидов осокового торфа. Следовательно, в липидах торфов присутствуют две группы антиоксидантов с разными значениями констант скоростей окисления  $^1K_7$  и  $^2K_7$ , отличающихся между собой по реакционной способности и содержанию антиоксидантов  $AO^1$  и  $AO^2$  (табл. 3). Количественной мерой антиоксидантной активности (АОА) являются период индукции и константы скорости окисления. Наибольшим периодом индукции характеризуются липиды, выделенные из фускум-торфа, залегающего в верхнем слое торфяной залежи. С понижением глубины залегания период индукции снижается в 2–3 раза.

В образцах липидов сфагновых торфов содержание АО выше, чем в соответствующих биопродуктах. Более высокое их количество характерно для липидов фускум-торфов, залегающих на глубине 0–75 см и характеризующихся низкой степенью разложения 0–5% (табл. 1, 3). В однотипных фускум торфах с увеличением глубины залегания индекс расходования АО составляет 51–57%, что связано с одинаковым ботаническим составом и степенью разложения. В липидах магелланикум торфов наблюдается снижение количества АО, индекс их расходования имеет положительное значение в пределах 48–62%. Этот факт однозначно свидетельствует о дополнительном источнике образования АО. С глубиной залегания сосново-пушицевого и осокового торфов содержание АО и липидов резко уменьшается, индекс расходования имеет отрицательное значение. По мнению авторов [22], на формирование химического состава органического вещества оказывают влияние биохимические и микробиологические процессы, активно протекающие в деятельном и инертном

горизонтах (0–100 см) указанной торфяной залежи. Следовательно, в верховых сфагновых торфах этих горизонтов происходит накопление АО второго типа, предотвращающих окисление липидов. Их содержание с глубиной залегания торфов снижается незначительно (табл. 1). Иная картина наблюдается для торфов с высокой степенью разложения, в которых активность биохимических процессов уменьшается.

Константы скорости окисления АО в липидах биопродуцентов близки по значениям  ${}^1K_7$  АО<sup>1</sup> в липидах торфов, что свидетельствует о единой природе и реакционной способности. Второй ингибитор окисления АО<sup>2</sup> в липидах торфов имеет, возможно, микробный характер и образуется в процессе разложения растений [12].

С этой целью проведен эксперимент по гумификации растений в торфяной залежи в течение 2 лет. В процессе разложения в торфяной залежи часть биомассы теряется за счет распада до конечных продуктов минерализации. Убыль по массе растений *Carex caespitosa* составила 29.3% мас., *Eriophorum* – 31.0% мас., *Sphagnum fuscum* – 13.2% мас., *Sphagnum magellanicum* – 12.8% мас. В меньшей мере убыль массы наблюдается для мхов.

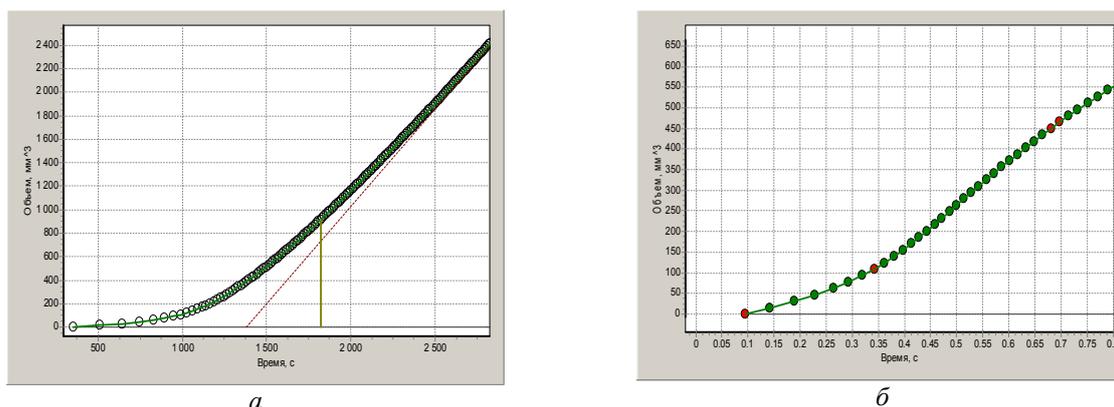


Рис. 1. Кинетическая кривая поглощения кислорода кумолом в присутствии липидов *Sph. Fuscum* (а), полулогарифмическая анаморфоза кинетической кривой поглощения кислорода кумолом (б)

Таблица 2. Антиоксидантные свойства липидов из растений биопродуцентов и растений после гумификации в течение 2 лет в торфяной залежи

Растение	Содержание липидов, % мас.	Содержание АО, моль/кг	Константа скорости ингибирования, л/моль*с		Индекс образования АО, %
			${}^1K_7 \cdot 10^4$	${}^2K_7 \cdot 10^4$	
<i>Eriophorum</i>	3.5	0.51	1.47	Отс.	–
<i>Carex caespitosa</i>	4.5	0.46	1.72	Отс.	–
<i>Sphagnum magellanicum</i>	1.7	0.25	1.14	Отс.	–
<i>Sphagnum fuscum</i>	1.4	0.39	1.02	Отс.	–
Через 2 года гумификации					
<i>Eriophorum</i>	5.2	0.90	3.67	0.37	43
<i>Carex caespitosa</i>	4.2	0.52	1.08	0.57	12
<i>Sphagnum magellanicum</i>	2.0	0.94	1.97	0.76	73
<i>Sphagnum fuscum</i>	1.9	0.98	1.56	0.65	65

Таблица 3. Антиоксидантные свойства липидов торфов

Торф	Период индукции, мин		Содержание АО <sup>2</sup> , моль/кг		$K$ ингибирования, л/моль*с		Индекс расхода вания $I$ , %
	$\tau_1$	$\tau_2$	АО <sup>1</sup>	АО <sup>2</sup>	${}^1K_7 \cdot 10^4$	${}^2K_7 \cdot 10^4$	
Фускум В	60.0	62.0	0.49	0.30	0.79	0.50	51
Фускум В	32.5	21.6	0.51	0.37	0.84	0.75	57
Магелланикум В	19.3	10.0	0.30	0.18	1.52	0.90	48
Магелланикум В	21.0	22.2	0.37	0.30	1.0	0.70	62
Сосново-пушицевый В	35.1	23.4	0.27	0.10	0.98	0.59	-38
Осоковый Н	22.9	Отс.	0.30	Отс.	2.34	Отс.	-53

Примечание. В – верховой, Н – низинный.

В таблице 2 приведены результаты исследования антиоксидантных свойств липидов, выделенных из гумифицированных растений. Содержание липидов в растениях после 2 лет гумификации в торфяной залежи незначительно повысилось. В липидах увеличивается количество АО, превышающее их содержание даже в липидах торфов верхнего горизонта. Очевидно, в процессе гумификации отмечается новообразование АО двух типов, которые в последующем расходуются при ингибировании реакций окисления, о чем свидетельствует снижение их количества в липидах торфов. Расчет индекса образования АО показал, что в большей степени их новообразование происходит в липидах сфагновых мхов (табл. 2).

Для оценки роли кислородсодержащих групп в антиоксидантной способности липидов растений и торфов проведен анализ элементного состава (табл. 4). Содержание углерода в липидах колеблется от 67.8 до 77.4% мас. Азот присутствует в липидах в небольшом количестве. Атомные отношения О/С выше в липидах торфов, С/Н – в липидах биопродуцентов.

Для установления зависимости антиоксидантных свойств от молекулярной структуры липидов был проведен корреляционный анализ. В качестве основных параметров выбраны данные элементного состава, представленные атомными соотношениями О/С и С/Н. Взаимосвязь между антиоксидантной активностью липидов и соотношением С/Н не обнаружена. Увеличение количества АО, очевидно, связано с кислородсодержащими соединениями в липидах.

На рисунке 2 приведена линейная зависимость содержания АО от соотношения О/С с невысоким коэффициентом корреляции ( $r=0.62$ ). Это может быть связано с тем, что амфифильные молекулы, к которым относятся липиды, проявляют значительную тенденцию к агрегации. Фенольные группы склонны к образованию внутримолекулярных и межмолекулярных водородных связей в зависимости от их расположения и окружения заместителей, что не позволяет реакционным центрам участвовать в процессах ингибирования окисления.

Таблица 4. Элементный состав липидов растений и торфов

Растения, торф	Элементный состав, % мас. на ОБ				Соотношение	
	С	Н	N	О	О/С	С/Н
<i>Eriophorum</i>	75.3	11.4	0.24	13.0	0.13	363
<i>Carex caespitosa</i>	74.8	10.8	0.30	14.1	0.14	289
<i>Sph. magellanicum</i>	77.4	11.2	0.27	11.1	0.11	332
<i>Sphagnum fuscum</i>	72.2	11.3	0.25	16.2	0.17	335
Фускум торф	67.8	10.5	0.50	21.2	0.23	157
Фускум торф	70.0	9.2	0.35	20.4	0.22	232
Магелланикум	71.2	11.3	0.45	17.5	0.18	183
Магелланикум	69.8	9.6	0.27	20.3	0.22	229
Сосново-пушицевый	71.1	9.7	0.70	18.5	0.19	118
Осоковый	76.4	8.5	0.3	15.3	0.15	295

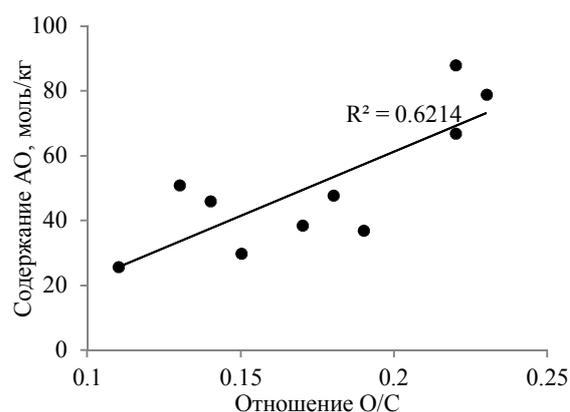


Рис. 2. Зависимость содержания АО от атомного отношения О/С в липидах

### Выводы

1. Установлено, что антиоксидантная активность в липидах сфагновых торфах обусловлена наличием двух типов АО и их содержание выше, чем в биопродуцентах.
2. Антиоксиданты препятствуют окислительной деструкции липидов растений при их гумификации в течение 2 лет: происходит новообразование АО микробного типа с более низкой реакционной способностью.
3. Показано, что в процессе торфообразования с увеличением глубины залегания и вида торфа в липидах снижается содержание АО и кислородсодержащих компонентов.

**Список литературы**

1. Miliuskas G., Venskutonis P.R., Van Beek T.A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts // *Food Chem.* 2004. Vol. 85, no. 2. Pp. 231–237.
2. Silva B.A., Ferreres F., Malva J.O., Dias A.C.P. Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* alcoholic extracts // *Food Chem.* 2005. Vol. 90, no. 1. Pp. 157–167.
3. Варданын Л.Р., Атабекян Л.В., Айрапетян С.А., Варданын Р.Л. Антиоксидантная активность этилацетатного экстракта разных видов тысячелистника (*Achillea L.*) // *Химия растительного сырья.* 2018. №3. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033697>.
4. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. Antioxidant activities of phenolic, proanthocyanidin, and flavonoid components in extracts of *Cassia fistula* // *Journal Agricultural and Food Chemistry.* 2002. Vol. 50, no. 18. Pp. 5042–5047.
5. Смирнова О.В., Ефимова И.В., Хилько С.Л., Опейда И.А., Рыбаченко В.И. Антиоксидантные свойства гуминовых кислот в процессах радикально-цепного окисления // *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии.* 2010. Т. 8, №4. С. 835–841.
6. Хилько С.Л., Ефимова И.В., Смирнова О.В. Антиоксидантные свойства гуминовых кислот из бурого угля // *Химия твердого топлива.* 2011. №6. С. 3–8.
7. Klein O.I., Kulikova N.A., Filimonov I.S., Koroleva O.V., Konstantinov A.I. Long-term kinetics study and quantitative characterization of the antioxidant capacities of humic and humic-like substances // *Journal of Soils and Sediments.* 2018. Vol. 18, no. 4. Pp. 1355–1364. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1538-7>.
8. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. Antioxidant activities of phenolic, proanthocyanidin, and flavonoid components in extracts of *Cassia fistula* // *Journal Agricultural and Food Chemistry.* 2002. Vol. 50, no. 18. Pp. 5042–5047.
9. Aeschbacher M., Graf C., Schwarzenbach R.P., Sander M. Antioxidant properties of humic substances // *Environ Sci. Technol.* 2012. Vol. 46. Pp. 4916–4925. DOI: 10.1021/es300039h.
10. Иванов А.А., Юдина Н.В., Короткова Е.И., Ломовский О.И. Антиоксиданты в углеводных водорастворимых фракциях мха *Sphagnum fuscum* и сфагнового торфа // *Химия твердого топлива.* 2008. №2. С. 7–13.
11. Мальцева Е.В., Михеев К.В., Юдина Н.В. и др. Влияние природы экстрагента на состав и свойства липидов, извлекаемых из торфа // *Химия твердого топлива.* 2012. №4. С. 10–14.
12. Буркова В.Н., Писарева С.И., Юдина Н.В. Распределение антиоксидантов в биологических и геоорганических объектах // *Геохимия.* 1998. №11. С. 1164–1171.
13. Karadag A., Ozelcelik B., Saner S. Review of methods to determine antioxidant capacities // *Food Analyt Methods.* 2009. Vol. 2, no. 1. Pp. 41–60.
14. Чайковская О.Н., Юдина Н.В., Соколова И.В. и др. Окислительно-восстановительные свойства и антирадикальная активность гуминовых кислот при воздействии УФ и видимым излучением // *Журнал прикладной химии.* 2011. Т. 84, вып. 5. С. 790–795.
15. Fogliano V., Verde V., Randazzo G., Ritieni A. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines // *Journal Agricultural and Food Chemistry.* 1999. Vol. 47, no. 3. Pp. 1035–1040.
16. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: vaccinium, rubus, and ribes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2002. Vol. 50, no. 3. Pp. 519–525.
17. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. Antioxidant activities of phenolic, proanthocyanidin, and flavonoid components in extracts of *Cassia fistula* // *Journal Agricultural and Food Chemistry.* 2002. Vol. 50, no. 18. Pp. 5042–5047.
18. Короткова Е.И., Карбаинов Ю.А., Аврамчик О.А. Вольтамперометрическое определение антиоксидантной активности растительного сырья и некоторых продуктов питания // *Известия вузов. Химия и химическая технология.* 2002. Т. 45, №3. С. 110–112.
19. Korotkova E.I., Karbainov Y.A., Avramchik O.A. Investigation of antioxidant and catalytic properties of some biologically active substances by voltammetry // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. Vol. 375, no. 3. Pp. 465–468.
20. Ермилова Е.В., Кадырова Т.В., Краснов Е.А., Писарева С.И., Пынченков В.И. Антиокислительная активность экстрактов водяники черной // *Химико-фармацевтический журнал.* 2000. Т. 34, №11. С. 28–30.
21. Wilfred L.F. Armarego, Christina L.L. Chai. Purification of Laboratory Chemicals. Elsevier Science. 2003. 608 p.
22. Инишева Л.И., Юдина Н.В., Инишев Н.Г., Головченко А.В. Распределение органических веществ в системе геохимически сопряженных болотных ландшафтов // *Геохимия.* 2005. №2. С. 197–205.
23. Сорокина И.В., Крысин А.П., Хлебникова Т.Б., Кобрин В.С., Попова Л.Н. Роль фенольных антиоксидантов в повышении устойчивости органических систем к свободно-радикальному окислению: Аналит. обзор. Сер. «Экология». Новосибирск, 1997. Вып. 46. 68 с.

Поступила в редакцию 18 декабря 2018 г.

После переработки 11 апреля 2019 г.

Принята к публикации 12 апреля 2019 г.

**Для цитирования:** Юдина Н.В., Савельева А.В. Антиоксиданты в липидах растений-торфообразователей и торфов // *Химия растительного сырья.* 2019. №3. С. 253–259. DOI: 10.14258/jcprm.2019034840.

Yudina N.V.\*, Savelieva A.V. ANTIOXIDANTS IN LIPIDS OF PEATS AND PEAT-FORMING PLANTS

*Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 4, Academicheskoy Ave., Tomsk, 634021 (Russia), e-mail: anna@ipc.tsc.ru*

The paper presents the results of a study of antioxidant activity of lipids isolated from bioproducer plants and peats sampled from a deposit on spurs of the Vasyugan Swamp. Analysis of antioxidants (AOs) is performed via the gasometric method using a model reaction initiated by cymene oxidation. It is found out that oxidation inhibitors of two types differing in reactivity and antioxidant content are present in peat lipids. In fuscum peats of the same type, the amount of AOs changes insignificantly with an increase in the depth of occurrence. A decrease in AOs of the second type is observed for peats with a high degree of decay.

The experiments on plant humification in a peat deposit conducted during 2 years confirm the neoplasm of AOs of the second type, which is the result of microbiological activity. The content of lipids in plants after 2 years of humification is slightly increased, while the increase in AOs amount exceeding their content in peat lipids of the upper horizon is also observed. The depth of occurrence and the type of peat affect the content of AOs and the O/C ratio, as evidenced by the linear correlation dependence. The relationship between the antioxidant activity of lipids and the C/N ratio is not established.

**Keywords:** plants, peat, humification of plants, lipids, nature of antioxidants.

### References

1. Miliuskas G., Venskutonis P.R., Van Beek T.A. *Food Chem.*, 2004, vol. 85, no. 2, pp. 231–237.
2. Silva B.A., Ferreres F., Malva J.O., Dias A.C.P. *Food Chem.*, 2005, vol. 90, no. 1, pp. 157–167.
3. Vardanyan L.R., Atabekyan L.V., Ayrapetyan S.A., Vardanyan R.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033697>. (in Russ.).
4. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 18, pp. 5042–5047.
5. Smirnova O.V., Yefimova I.V., Khil'ko S.L., Opeyda I.A., Rybachenko V.I. *Nanosistemy, nanomaterialy, nanotekhnologii*, 2010, vol. 8, no. 4, pp. 835–841. (in Russ.).
6. Khil'ko S.L., Yefimova I.V., Smirnova O.V. *Khimiya tverdogo topliva*, 2011, no. 6, pp. 3–8. (in Russ.).
7. Klein O.I., Kulikova N.A., Filimonov I.S., Koroleva O.V., Konstantinov A.I. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 1355–1364. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1538-7>
8. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 18, pp. 5042–5047.
9. Aeschbacher M., Graf C., Schwarzenbach R.P., Sander M. *Environ Sci. Technol.*, 2012, vol. 46, pp. 4916–4925. DOI: 10.1021/es300039h.
10. Ivanov A.A., Yudina N.V., Korotkova Ye.I., Lomovskiy O.I. *Khimiya tverdogo topliva*, 2008, no. 2, pp. 7–13. (in Russ.).
11. Mal'tseva Ye.V., Mikheyev K.V., Yudina N.V. etc. *Khimiya tverdogo topliva*, 2012, no. 4, pp. 10–14. (in Russ.).
12. Burkova V.N., Pisareva S.I., Yudina N.V. *Geokhimiya*, 1998, no. 11, pp. 1164–1171. (in Russ.).
13. Karadag A., Ozelcik B., Saner S. *Food Analyt Methods.*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 41–60.
14. Chaykovskaya O.N., Yudina N.V., Sokolova I.V. etc. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2011, vol. 84, issue 5, pp. 790–795. (in Russ.).
15. Fogliano V., Verde V., Randazzo G., Ritieni A. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 1999, vol. 47, no. 3, pp. 1035–1040.
16. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 3, pp. 519–525.
17. Luximon-Ramma A., Bahorun T., Soobrattee M.A., Aruoma O.I. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 18, pp. 5042–5047.
18. Korotkova Ye.I., Karbainov YU.A., Avramchik O.A. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2002, vol. 45, no. 3, pp. 110–112. (in Russ.).
19. Korotkova E.I., Karbainov Y.A., Avramchik O.A. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2003, vol. 375, no. 3, pp. 465–468.
20. Yermilova Ye.V., Kadyrova T.V., Krasnov Ye.A., Pisareva S.I., Pynchenkov V.I. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2000, vol. 34, no. 11, pp. 28–30. (in Russ.).
21. Wilfred L.F. Armarego, Christina L.L. Chai. *Purification of Laboratory Chemicals*. Elsevier Science. 2003. 608 p.
22. Inisheva L.I., Yudina N.V., Inishev N.G., Golovchenko A.V. *Geokhimiya*, 2005, no. 2, pp. 197–205. (in Russ.).
23. Sorokina I.V., Krysin A.P., Khlebnikova T.B., Kobrin V.S., Popova L.N. *Rol' fenol'nykh antioksidantov v povyshenii ustoychivosti organicheskikh sistem k svobodno-radikal'nomu okisleniyu: Analiticheskiy obzor. Seriya «Ekologiya»*. [The role of phenolic antioxidants in increasing the resistance of organic systems to free radical oxidation: An analytical review. Ecology Series]. Novosibirsk, 1997, issue 46, 68 p. (in Russ.).

Received December 18, 2018

Revised April 11, 2019

Accepted April 12, 2019

**For citing:** Yudina N.V. and Savelieva A.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 253–259. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019034840.

\* Corresponding author.

