

Климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих различные стабилизирующие добавки

Е.С. Петухова*, А.Л. Федоров

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

* evgspar@rambler.ru

Аннотация. Обоснована необходимость проведения климатических испытаний полимерных материалов, так как факторы среды являются определяющими при прогнозировании срока службы, надежности и долговечности изделий. Показано, что одним из наиболее агрессивных факторов, обуславливающих преждевременный выход из строя изделий из полимерных материалов, является УФ-излучение, под воздействием которого в материале начинают протекать необратимые химические изменения. Для предотвращения протекания радикальных цепных реакций используют специальные функциональные добавки – стабилизаторы. Для проведения комплексных климатических исследований в качестве объектов исследования выбраны композиционные материалы на основе полиэтилена марки 273-83 с добавлением стабилизирующих добавок марок СОЗ, СО4 и Стафен, разработанных в НИОХ СО РАН. Состав композитов выбран исходя из исследования физико-механических свойств композитов различного состава. Комплексные климатические исследования показали, что одной из наиболее чувствительных характеристик к воздействию естественных климатических факторов является удлинение при разрыве. Экспонирование композитов в течение 9–12 месяцев приводит к охрупчиванию исследованных материалов и потере их работоспособности, что в структурном плане отражается в трансформации надмолекулярной структуры с образованием менее крупных и неоднородных образований. Установлено, что стабилизаторы СОЗ и СО4 наиболее эффективны для защиты неокрашенных изделий из полиэтилена от УФ-излучения, их применение позволяет продлить срок службы материала в условиях непрерывного воздействия естественных климатических факторов региона на 3 месяца и более. Повышение концентрации стабилизирующих добавок может обеспечить дополнительное повышение надежности и долговечности.

Ключевые слова: полиэтиленовые композиционные материалы, климатические испытания, стабилизирующие добавки, физико-механические характеристики, удлинение при разрыве, электронно-микроскопические исследования.

Благодарности. Работа выполнена по Госзаданию Министерства науки и высшего образования РФ №0377-2018-0001.

Введение

Темпы мирового производства и потребления полимеров непрерывно растут. Надежность и долговечность изделий из пластмасс определяются многими факторами, совокупность которых зависит от особенностей эксплуатации. Наиболее распространено разрушение материалов под воздействием естественных климатических факторов, таких как интенсивное солнечное излучение, высокие и низкие температуры, перепады температур как в течение года, так и в течение суток и т.п. Особенно остро вопрос надежности конструкций из полимеров стоит в случае

эксплуатации изделий в условиях, характерных для Арктических территорий России. В ряде работ показано [1–3], что одним из наиболее агрессивных климатических факторов является солнечное излучение, в частности в ультрафиолетовой части спектра. УФ-излучение приводит к разрушению межатомных связей, появлению свободных радикалов, что усиливает процессы окислительной деструкции и снижению всех механических характеристик полимерного материала вплоть до выхода изделий из строя.

Один из наиболее эффективных способов защиты полимеров от УФ-радиации – введение в

состав материала адсорбентов ультрафиолетового излучения или стабилизаторов [4–7]. К адсорбентам излучения наиболее часто относят различные пигменты, в том числе некоторые марки технического углерода, который поглощает энергию ультрафиолетового и видимого света практически во всем частотном диапазоне и преобразует ее в безвредную тепловую энергию, благодаря осуществляющимся при поглощении излучения электронным переходам типа $\pi-\pi^*$. Стабилизаторы, в отличие от адсорбентов ультрафиолетовой радиации, препятствуют разрушению химических связей за счет прерывания цепных радикальных реакций, возникающих под воздействием излучения, а также различных окислителей, к примеру, кислорода воздуха [8].

В настоящее время в ФГБУН Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (НИОХ СО РАН) ведутся разработки новых высокоэффективных стабилизирующих добавок широкого спектра назначения. В связи с уникальными климатическими условиями территории Республики Саха (Якутия) [9], характеризующимися как большими перепадами температур, так и высоким уровнем солнечной радиации, было предложено провести климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих стабилизаторы различных марок, в данных условиях.

Объекты и методы исследования

В качестве полимерной матрицы выбрали неокрашенный полиэтилен марки 273-83 (ПАО «Ка-

заньоргсинтез»). Данная марка полиэтилена (ПЭ) предназначена для производства профильно-погонажных изделий, напорных труб и соединительных деталей, а также тары объемом 10 дм³ и более. Некоторые свойства ПЭ марки 273-83 представлены в табл. 1.

Из имеющегося ассортимента различных добавок, производимых НИОХ СО РАН, были выбраны стабилизаторы марок СОЗ, СО4 и Стафен. Химические и структурные формулы данных соединений приведены на рис. 1.

В отличие от многих применяемых добавок к полимерам разработанные в НИОХ СО РАН стабилизаторы обладают уникальным сочетанием полезных свойств [11]:

- нетоксичны (относятся к III–IV классам опасности по ГОСТ 12.1007.76);
- не окрашивают полимерные материалы;
- полифункциональны;
- практически нелетучи и термостабильны при температурах выше 250 °С;
- в смесях с amino- и серосодержащими стабилизаторами проявляют синергизм – значительное усиление стабилизирующей эффективности;
- улучшают прочность, стойкость на изгиб и долговечность, устойчивость к механической нагрузке изделий из полимерных материалов.

Данные соединения предназначены для свет- и термостабилизации полипропилена, полиэтиленов высокого и низкого давления, полистиролов, АБС-пластиков, радиационно- или перекисно-сшитых полиэтиленов, эпоксидных смол, резин и др.

Физико-механические характеристики композитов определяли в соответствии с ГОСТами 11262-80 и 9550-81 на универсальной разрывной машине UTS-20K. Для оценки эффективности стабилизаторов была составлена программа натурных климатических испытаний. При составлении программы испытаний руководствовались инструкциями ГОСТ 7.908-83. В качестве показателей контроля динамики изменения свойств в данной статье представлены результаты исследования удлинения при разрыве (ГОСТ 11262-80) после 0, 1, 3, 6, 9, 12 и 18 месяцев испытаний, а также электронно-микроскопического исследования структуры (растровый электронный микроскоп Jeol JSM-7800F, Япония). Кроме того, производилась оценка состояния поверхности образцов и их окраски после их экспонирования. Для испытаний были изготовлены две серии

Таблица 1
Свойства полиэтилена марки 273-83 [10]

Table 1
Properties of polyethylene grade 273-83 [10]

Показатель / Index	Значение / Value
Плотность / Density	0,950–0,955 г/см ³ (g/cm ³)
Предел текучести при растяжении, не менее / Yield strength, not less	22,6 МПа (MPa)
Прочность при разрыве / Tensile strength	29,4 МПа (MPa)
Относительное удлинение при разрыве, не менее / Elongation at break, not less	700 %

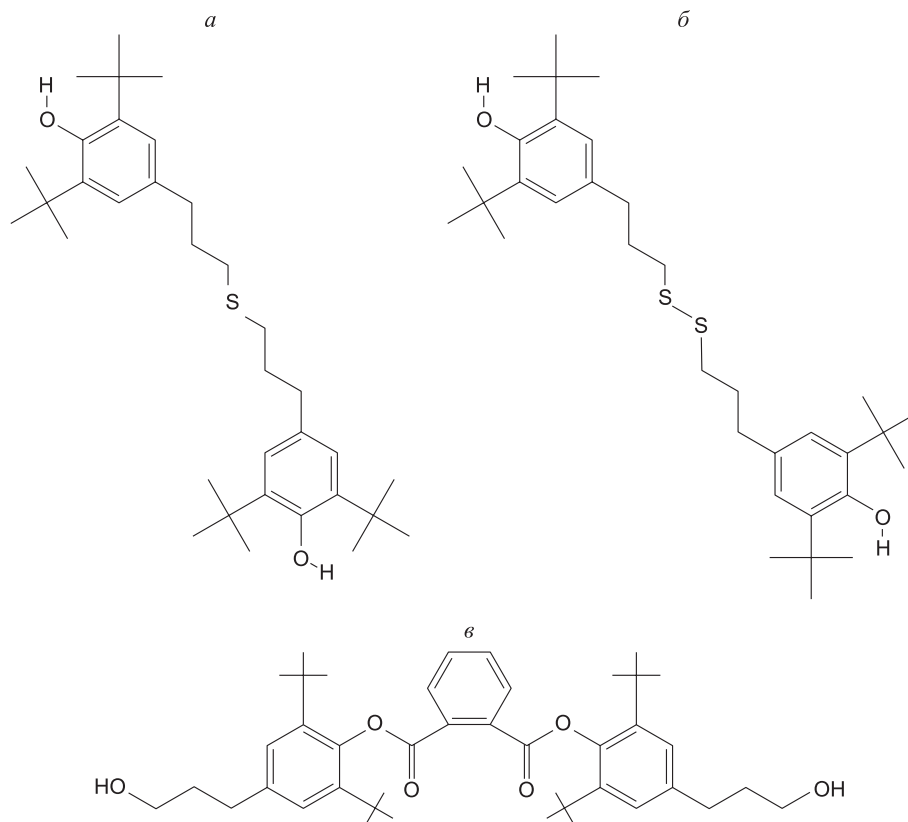


Рис. 1. Структурные формулы:

a – CO3 – бис-[3-(3,5-ди-трет.бутил-4-гидроксифенил)пропил]сульфид; *б* – CO4 – бис-[3-(3,5-ди-трет.бутил-4-гидроксифенил)пропил]дисульфид; *в* – Стафена – бис-[3-(3,5-ди-трет-бутил-4-оксифенил)пропил] фталат.

Fig. 1. Structural formulas:

a – CO3 – bis[3-(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyphenyl)propyl] sulfide; *б* – CO4 – bis[3-(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyphenyl)propyl] disulfide; *в* – Stafen – bis-[3-(3,5-di-*t*-butyl-4-oxyphenyl)propyl]phthalate.

образцов: контрольные – их хранение осуществлялось в затемненном помещении при комнатной температуре и выставленные на полигон – хранились на открытом испытательном полигоне Института проблем нефти и газа СО РАН обособленного подразделения ФИЦ ЯНЦ СО РАН (ИПНГ СО РАН) на территории г. Якутск.

Результаты и обсуждение

Поскольку выбранные стабилизирующие добавки оказывают влияние на физико-механические характеристики полимеров, на первом этапе были исследованы композиты, содержащие 0,1, 0,3 и 0,5 мас.% стабилизаторов CO3, CO4, Стафен. Данные концентрации выбраны с учетом разработок, описанных в [12, 13]. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволил выделить следующие составы стабилизи-

рованных композитов, отличающиеся стабильным и высоким комплексом физико-механических свойств: ПЭ марки 273-83+0,5 мас.% CO3, 273-83+0,3 мас.% CO4, 273-83+0,5 мас.% Стафен. Данные составы были выбраны для проведения натурных климатических испытаний.

На рис. 2 представлены фотографии внешнего вида образцов после 1 и 3 месяцев экспонирования на открытом полигоне ИПНГ СО РАН.

Установлено, что композиты, содержащие стабилизаторы марок CO3 и CO4, окрашиваются в желтый цвет. Изменение окраски вызвано видоизменением стабилизирующих добавок, сопровождающимся образованием соединений с содержанием производных хинона, которые имеют окраску. Последовательность превращений можно представить следующим образом: пероксидные радикалы, образующиеся при воздействии УФ-излучения на образцы, взаимодействуют с

Результаты исследования физико-механических характеристик стабилизированного ПЭ марки 273-83

Table 2

Mechanical properties and density of stabilized PE grade 273-83

Образец / sample	$\sigma_{\text{разр}}$, МПа	$\sigma_{\text{раст}}$, МПа	$\epsilon_{\text{разр}}$, %	E, МПа	ρ , г/см ³
273-83	27,1	22,3	948,5	1108,8	0,9479
273-83+0,1 мас.% CO ₃	23,7	22,1	853,8	931,6	0,9456
273-83+0,3 мас.% CO ₃	24,7	21,9	898,7	1016,2	0,9449
273-83+0,5 мас.% CO ₃	28,3	22,2	1079,8	1122,5	0,9462
273-83+0,1 мас.% CO ₄	19,4	21,9	719,1	796,6	0,9470
273-83+0,3 мас.% CO ₄	29,6	22,0	1001,5	995,4	0,9460
273-83+0,5 мас.% CO ₄	27,0	22,1	937,2	1041,4	0,9464
273-83+0,1 мас.% Стафен	19,6	22,6	748,8	1110,8	0,9462
273-83+0,3 мас.% Стафен	28,4	22,2	972,8	1057,0	0,9461
273-83+0,5 мас.% Стафен	27,5	22,9	938,8	1118,9	0,9466

Примечание. $\sigma_{\text{разр}}$ – предел прочности при разрыве; $\sigma_{\text{раст}}$ – предел текучести; $\epsilon_{\text{разр}}$ – относительное удлинение при разрыве; E – модуль упругости; ρ – плотность.

Note. $\sigma_{\text{разр}}$ – strength at rupture; $\sigma_{\text{раст}}$ – yield strength; $\epsilon_{\text{разр}}$ – elongation at rupture; E – elastic modulus; ρ – density.

фенольной группой стабилизаторов (CO₃ и CO₄) с формированием феноксильного радикала. Феноксильный радикал обратимо переходит в форму циклогексадиенонил радикала, который способен дальше реагировать с пероксидными радикалами, образуя функциональную группу хинонной структуры [14]. Следует отметить, что при дальнейшем экспонировании данных образцов на испытательном полигоне интенсивность окрашивания не изменяется. Исходный полиэтилен и

композиты, содержащие стабилизатор Стафен, в ходе всего испытательного периода свой внешний вид не изменяли.

Одним из наиболее чувствительных показателей старения полимерных материалов является удлинение при разрыве, поскольку структурные изменения, происходящие под воздействием климатических факторов в объеме и на поверхности образцов, в первую очередь сказываются на их пластичности [15, 16]. На рис. 3 представлены результаты исследования удлинения при разрыве контрольных образцов и образцов, изъятых с испытательного полигона.

Установлено, что удлинение при разрыве контрольных образцов практически не изменяется с течением времени. Однако прослеживается некоторая тенденция к незначительному снижению исследуемого показателя. Исследование образцов, подвергшихся воздействию естественных климатических факторов, показало, что уже после 9 месяцев экспонирования наблюдается существенное снижение удлинения при разрыве образцов, содержащих стабилизатор Стафен. После экспонирования в течение 12 месяцев образцы, стабилизированные CO₃ и CO₄, сохраняют свои свойства, композиты, стабилизированные Стафеном, приближаются к хрупкому состоянию. После 18 месяцев экспонирования все материалы становятся хрупкими. Известно [17], что при постоянном ультрафиолетовом об-

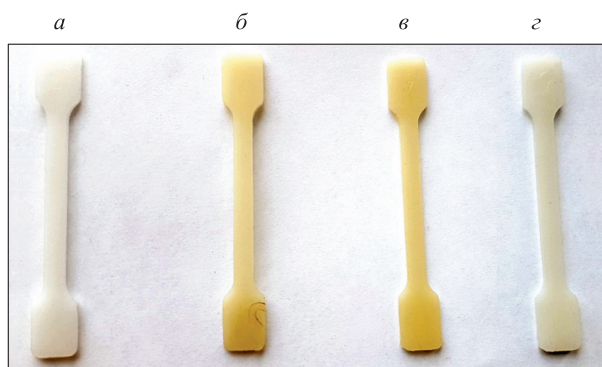


Рис. 2. Образцы исходного и стабилизированного полиэтилена марки 273-83 после 3-х месяцев экспонирования на полигоне:

a – 273-83; б – 0,5 мас.% CO₃; в – 0,3 мас.% CO₄; г – 0,3 мас.% Стафена.

Fig. 2. Samples of initial and stabilized polyethylene grade 273-83 after 3 months of exposure on polygon:

a – 273-83; б – 0,5 wt.% CO₃; в – 0,3 wt.% CO₄; г – 0,3 wt.% Stafen.

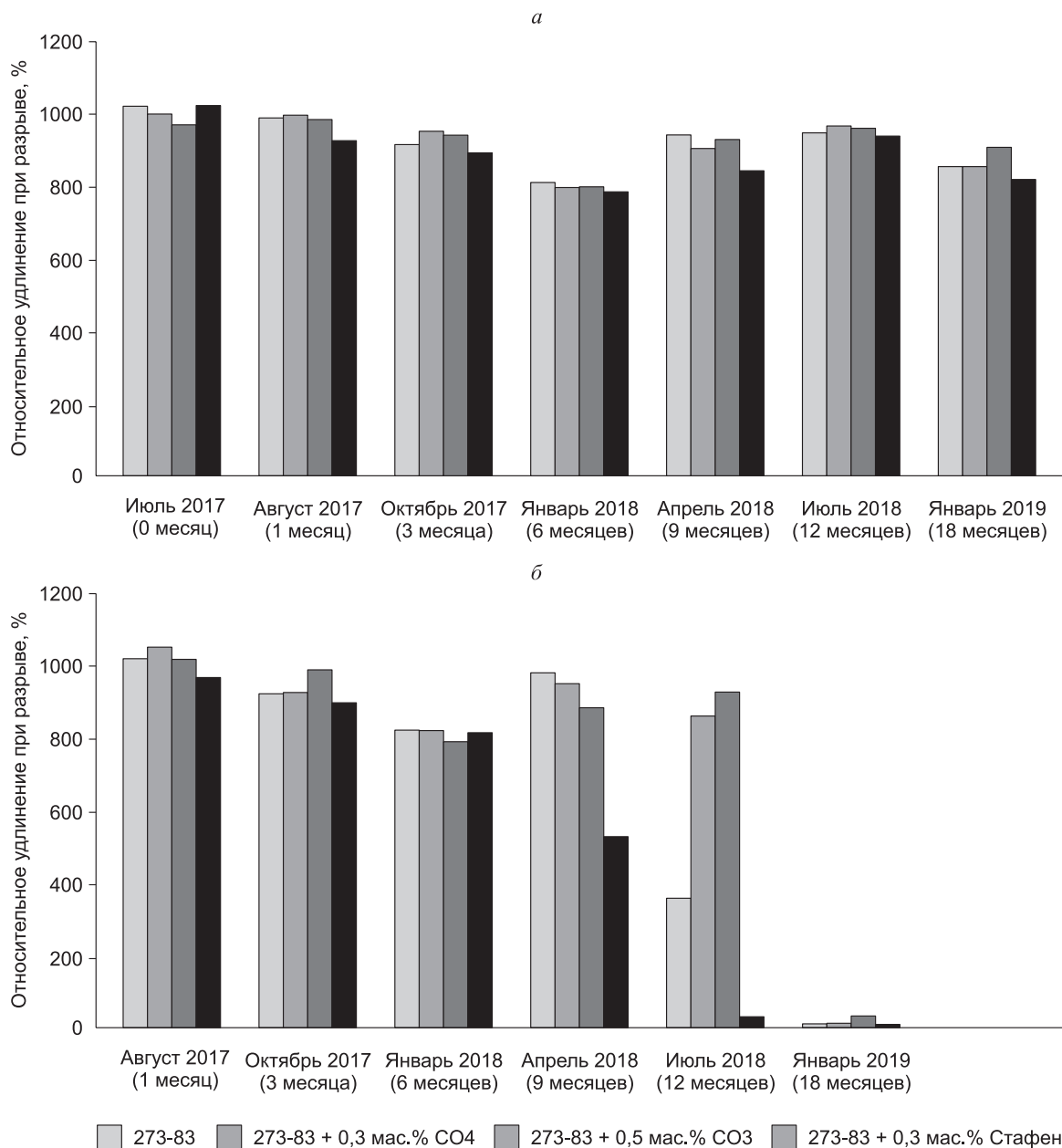


Рис. 3. Удлинение при разрыве:

a – контрольных образцов; *б* – образцов, изъятых с испытательного полигона.

Fig 3. Elongation at break:

a – control samples; *б* – after exposure on polygon.

лучении стабилизирующие добавки со временем теряют свою способность поглощать это излучение из-за химических изменений в структуре самих добавок под воздействием высвобождающихся при излучении свободных радикалов. По-видимому, ресурса работы использованных в работе стабилизаторов достаточно для 1 года бесперебойной работы изделий в заданных климатических условиях. Следует также учитывать,

что в качестве полимерной матрицы использовалась промышленная марка полиэтилена, которая содержит полный комплекс технологических добавок, ресурс работы которых также исчерпывается после 12 месяцев экспонирования.

Старение полимерных материалов сопровождается перестройкой их надмолекулярной структуры, вызванной как воздействием температурных факторов, так и процессами деструкции,

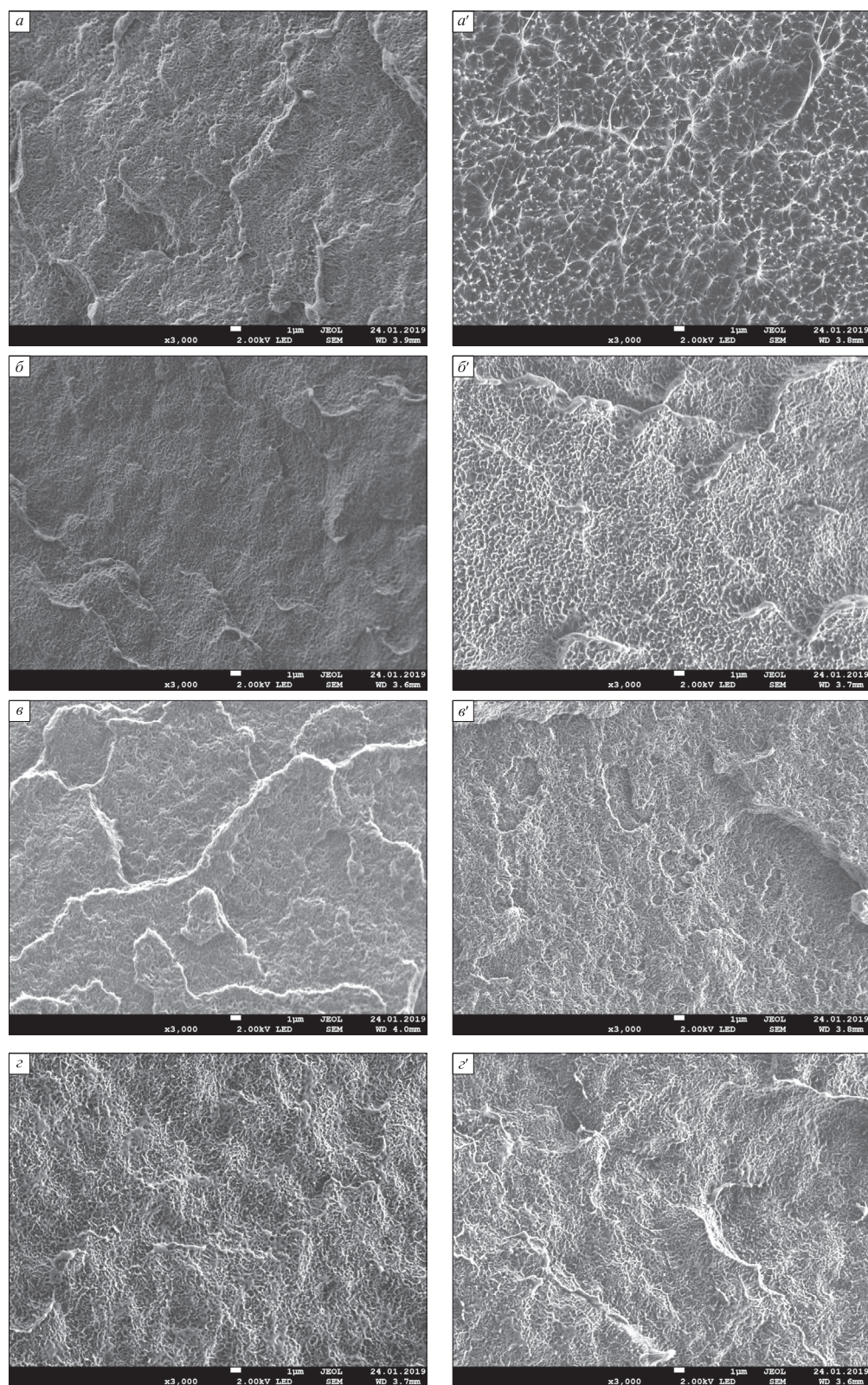


Рис. 4. Электронные микрофотографии сколов контрольных образцов и образцов после 18 месяцев экспонирования: *a* – 273-83; *б* – 0,5 мас.% CO₃; *в* – 0,3 мас.% CO₄; *з* – 0,3 мас.% Стафена; *а'*, *б'*, *в'*, *з'* – те же образцы после экспонирования.

Fig. 4. Electron images of fractured control samples and samples after 18 months of exposure: *a* – 273-83; *б* – 0,5 wt.% CO₃; *в* – 0,3 wt.% CO₄; *з* – 0,3 wt.% Stafen; *а'*, *б'*, *в'*, *з'* the same samples after exposure.

сопровождающимися укорочением макромолекулярных цепей [18, 19]. На рис. 4 приведены результаты электронно-микроскопического исследования контрольных образцов и образцов, подвергшихся воздействию климатических факторов после 18 месяцев экспонирования.

Установлено, что характер надмолекулярной структуры композитов зависит от условий хранения. Видно, что исходный полиэтилен, а также композиты, содержащие стабилизаторы марок СОЗ и СО4 после 18 месяцев экспонирования характеризуются меньшими размерами надмолекулярных образований, по сравнению с контрольными образцами аналогичного состава. Структура композитов, стабилизированных Стафеном, характеризуется отчетливо выраженными морфологическими неоднородностями как в размерах, так и в форме надмолекулярных образований. Таким образом, нарушение свойств композитов после климатического воздействия вызвано изменением надмолекулярной структуры полимера в более рыхлую структуру, имеющую меньшие по размеру образования с существенными неоднородностями, наличие которых приводит к охрупчиванию материала.

Заключение

Таким образом, климатические испытания композиционных материалов на основе полиэтилена марки 273-83 показали, что эффективность стабилизаторов определяется ресурсом их работы, связанным с постепенной утратой способности поглощать УФ-излучение с течением времени. Введение стабилизаторов марок СОЗ, СО4 и Стафена в количестве 0,3–0,5 мас.% обеспечивает сохранность физико-механических характеристик неокрашенного полимерного материала в условиях непрерывного воздействия естественных климатических факторов в течение 9–12 мес. Условием для увеличения срока службы данных стабилизирующих добавок является увеличение их содержания в композите либо применение в сочетании с адсорбентами УФ-излучения (техническим углеродом и различными пигментами).

Литература

1. *Abdelhafidi A., Babaghayou I.M., Chabira S.F., Sebaa M.* Impact of solar radiation effects on the physicochemical properties of polyethylene (PE) plastic film // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 195. P. 2922–2929. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.06.302.
2. *Yousif E., Haddad R.* Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review // *SpringerPlus*. 2013. N. 2. P. 398. DOI:10.1186/2193-1801-2-398.
3. *Andrady A.L., Hamid S.H., Hu X., Torikai A.* Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1998. Vol. 46. P. 96–103. DOI: 10.1016/s1011-1344(98)00188-2.
4. *Kucuk S.D., Gerengi H., Guner Y.* The Effect of Tinuvin Derivatives as an Ultraviolet (UV) Stabilizer on EPDM Rubber // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2018. Vol. 6 (1). P. 52–62. DOI: <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v6i1.157>.
5. *Gray R.L.* Hindered amine light stabilizers: recent developments // *Plastics Additives. Polymer Science and Technology Series*. 1998. Vol. 1. P. 360–371. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5862-6_39.
6. *Huang Z., Ding A., Guo H., Lu G., Huang X.* Construction of Nontoxic Polymeric UV-Absorber with Great Resistance to UV-Photoaging // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. P. 25508. DOI: 10.1038/srep25508.
7. *Liu C. et. al.* Light stabilizers added to the shell of co-extruded wood/high-density polyethylene composites to improve mechanical and anti-UV ageing properties // *R. Soc. Open Sci.*, 2018. N. 5. P. 180074. DOI: DOI: 10.1098/rsos.180074.
8. *Грасси Н., Скотт Дж.* Деструкция и стабилизация полимеров: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 446 с.
9. *Борисов А.И., Гнатюк Г.А.* Природно-географические факторы формирования сети автомобильных дорог Республики Саха (Якутия) // *Московский экономический журнал*. 2018. № 5(3). С. 63–75. DOI 10.24411/2413-046X-2018-15115.
10. <http://prioritet-kzn.ru/pnd273-83>
11. <http://web.nioch.nsc.ru/prikladnye-razrabotki-instituta-2/kommercheskie-predlozheniya/263-stabilizatory-polimernykh-materialov>
12. *Глухов В.В., Волков И.В., Дорогиницкий М.М., Кимельблат В.И.* Термомеханодеструкция и стабилизация полиэтилена марки ПЭНТ11 // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15, № 5. С. 77–79.
13. *Бекназаров Х.С., Юсупов М.О., Файзиев Ж.Б., Останов У.Ю.* Исследование фотостабилизации полиэтиленовой пленки новыми светостабилизаторами // *Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн*. 2018. № 11(53). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/6510>.
14. *De la Rie E.R.* Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field // *Studies in Conservation*. 1988. Vol. 33 (1). P. 9–22. DOI: <https://doi.org/10.1179/sic.1988.33.1.9>
15. *Lipp-Symonowicz B., Sztajnowski S., Kardas I.* Influence of UV radiation on the mechanical properties of polyamide and polypropylene fibers in aspect of their restructuring // *AUTEX Research Journal*. 2006. Vol. 6(4). P. 196–203.
16. *Gijsman P., Hennekens J., Janssen K.* Comparison of UV Degradation of Polyethylene in Accelerated

Test and Sunlight // Polymer Durability. 1996. Vol. 37. P. 621–636. DOI: 10.1021/ba-1996-0249.ch037.

17. Смирнова А.И., Жук Н.А. Функциональные материалы в производстве пластмасс: Стабилизаторы: учебное пособие / ВШТЭСПБГУПТД. СПб., 2016. 48 с.

18. Martínez-Romo A., González-Mota R., Soto-Bernal J.J., Rosales-Candelas I. Investigating the Degradability of HDPE, LDPE, PE-BIO, and PE-EXO Films

under UV-B Radiation // Journal of Spectroscopy. 2015. P. 586514. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/586514>.

19. Tidjani A. Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions // Polymer Degradation and Stability. 2000. Vol. 68 (3). P. 465–469. DOI: DOI: 10.1016/S0141-3910(00)00039-2.

Поступила в редакцию 03.09.2019

Принята к публикации 12.11.2019

Об авторах

ПЕТУХОВА Евгения Спартаковна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2091-725X>, evgspar@rambler.ru;

ФЕДОРОВ Андрей Леонидович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1718-2643>, gelvirb@mail.ru.

Информация для цитирования

Петухова Е.С., Федоров А.Л. Климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих различные стабилизирующие добавки // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, Т. 24, № 4. С. 169–178. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-16>

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-4-16

Climatic tests of polyethylene based composite materials containing various types of stabilizers

E.S. Petukhova, A.L. Fedorov

*Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia
evgspar@rambler.ru*

Abstract. The article substantiates the need for climate testing of polymeric materials, since environmental factors are crucial in predicting the service life, reliability and durability of products. It is shown that one of the most aggressive factors causing premature failure of products made of polymer materials is UV radiation, under the influence of which irreversible chemical changes begin to occur in the material. To prevent the occurrence of radical chain reactions, special functional additives are used, the so-called stabilizers. To conduct complex climate studies, composite materials based on polyethylene of grade 273-83 with the addition of stabilizing additives CO3, CO4 and Stafen were selected as objects of study. These stabilizers were developed at the Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Science. The composition of the composites was chosen based on the study of the me-

chanical properties of composites of various compositions. Comprehensive climate studies have shown that one of the most sensitive characteristics to the effects of natural climatic factors is elongation at break. Exposure of composites for 9–12 months leads to embrittlement of the studied materials and loss of their performance, which is structurally reflected in the transformation of the supramolecular structure with the formation of larger and more heterogeneous formations. It was found that stabilizers CO3 and CO4 are most effective for protecting unpainted polyethylene products from UV radiation. Utilizing of CO3 and CO4 stabilizers allows to extend the life of the material under continuous exposure to natural climatic factors of the region for 3 or more months. Increasing the concentration of stabilizing additives can provide an additional increase in reliability and durability.

Key words: polyethylene composite materials, climatic tests, stabilizing additives, physical and mechanical characteristics, elongation at break, electron microscopic studies.

Acknowledgements. This work was performed according to the state order of Ministry of Science and Higher Education of RF No. 0377-2018-0001.

References

1. Abdelhafidi A., Babaghayou I.M., Chabira S.F., Sebaa M. Impact of solar radiation effects on the physico-chemical properties of polyethylene (PE) plastic film // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 195. P. 2922–2929. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.06.302.
2. Yousif E., Haddad R. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review // *SpringerPlus*. 2013. N. 2. P. 398. DOI:10.1186/2193-1801-2-398.
3. Andrady A.L., Hamid S.H., Hu X., Torikai A. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1998. Vol. 46. P. 96–103. DOI: 10.1016/s1011-1344(98)00188-2.
4. Kucuk S.D., Gerengi H., Guner Y. The Effect of Tinuvin Derivatives as an Ultraviolet (UV) Stabilizer on EPDM Rubber // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2018. Vol. 6 (1). P. 52–62. DOI: <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v6i1.157>.
5. Gray R.L. Hindered amine light stabilizers: recent developments // *Plastics Additives. Polymer Science and Technology Series*. 1998. Vol. 1. P. 360–371. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5862-6_39.
6. Huang Z., Ding A., Guo H., Lu G., Huang X. Construction of Nontoxic Polymeric UV-Absorber with Great Resistance to UV-Photoaging // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. P. 25508. DOI: 10.1038/srep25508.
7. Liu C. et. al. Light stabilizers added to the shell of co-extruded wood/high-density polyethylene composites to improve mechanical and anti-UV ageing properties // *R. Soc. Open Sci.* 2018. N. 5. P. 180074. DOI: DOI: 10.1098/rsos.180074.
8. Grassi N., Skott Dzh. Destrukciya i stabilizaciya polimerov: Per. s angl. M.: Mir, 1988. 446 p.
9. Borisov A.I., Gnatyuk G.A. Prirodno-geograficheskie faktory formirovaniya seti avtomobil'nyh dorog Respubliki Saha (Yakutiya) // *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2018. N. 5(3). P. 63–75. DOI 10.24411/2413-046H-2018-15115.
10. <http://prioritet-kzn.ru/pnd273-83>
11. <http://web.nioch.nsc.ru/prikladnye-razrabotki-instituta-2/kommercheskie-predlozheniya/263-stabilizatory-polimernykh-materialov>
12. Gluhov V.V., Volkov I.V., Doroginickij M.M., Kimmel'blat V.I. Termomekhanodestrukciya i stabilizaciya polietilena marki PE2NT11 // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15, N. 5. P. 77–79.
13. Beknazarov H.S., Yusupov M.O., Fajziev Zh.B., Ostanov U.Yu. Issledovanie fotostabilizacii polietilenovoj plenki novymi svetostabilizatorami // *Universum: Himiya i biologiya: elektron. nauchn. zhurn.* 2018. N. 11(53). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/6510>.
14. De la Rie E.R. Polymer Stabilizers. A Survey with Reference to Possible Applications in the Conservation Field // *Studies in Conservation*. 1988. Vol. 33 (1). P. 9–22. DOI: <https://doi.org/10.1179/sic.1988.33.1.9>
15. Lipp-Symonowicz B., Sztajnowski S., Kardas I. Influence of UV radiation on the mechanical properties of polyamide and polypropylene fibers in aspect of their restructuring // *AUTEX Research Journal*. 2006. Vol. 6(4). P. 196–203.
16. Gijsman P., Hennekens J., Janssen K. Comparison of UV Degradation of Polyethylene in Accelerated Test and Sunlight // *Polymer Durability*. 1996. Vol. 37. P. 621–636. DOI: 10.1021/ba-1996-0249.ch037.
17. Smirnova A.I., Zhuk N.A. Funkcional'nye materialy v proizvodstve plastmass: Stabilizatory: uchebnoe posobie / VSHTESPbGUPTD. SPb., 2016. 48 p.
18. Martínez-Romo A., González-Mota R., Soto-Bernal J.J., Rosales-Candelas I. Investigating the Degradability of HDPE, LDPE, PE-BIO, and PE-EXO Films under UV-B Radiation // *Journal of Spectroscopy*. 2015. P. 586514. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/586514>.

19. *Tidjani A.* Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions // *Polymer Degradation and Stability*. 2000. Vol. 68 (3). P. 465–469. DOI: DOI: 10.1016/S0141-3910(00)00039-2.

About the authors

PETUKHOVA Evgeniya Spartakovna, candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk, 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2091-725X>, evgspar@rambler.ru:

FEDOROV Andrei Leonidovich, candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk, 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1718-2643>, gelvirb@mail.ru.

Citation

Petukhova E.S., Fedorov A.L. Climatic tests of polyethylene based composite materials containing various types of stabilizers // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2019, Vol. 24, N 4. P. 169–178. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-16>