

2 Косиченко, Ю. М. Гидравлическая эффективность и эксплуатационная надежность крупных каналов территориального перераспределения стока [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 2(10). – 18 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=171&id=183>.

3 Косиченко, Ю. М. Гидравлические и эксплуатационные критерии функционирования крупных каналов перераспределения стока / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 5(174). – С. 62–66.

4 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.

5 Шестаков, В. М. Динамика подземных вод: учеб. / В. М. Шестаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, 1979. – 369 с.

6 Олейник, А. Я. Геогидродинамика дренажа / А. Я. Олейник. – Киев: Наукова думка, 1981. – 283 с.

7 Косиченко, Ю. М. Экологические аспекты фильтрации из каналов / Ю. М. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 1991. – № 5. – С. 21–24.

8 Чернышевская, Л. Е. Создание водосберегающих конструкций каналов оросительных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Чернышевская Людмила Ефимовна. – Киев, 2003. – 33 с.

9 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

10 Защитные покрытия оросительных каналов / под ред. В. С. Алтунина. – М.: ВО «Агропромиздат», 1998. – 160 с.

УДК 626.823.916

Ю. М. Косиченко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

Целью исследований являлся анализ этапов применения полимерных и геосинтетических материалов для противофильтрационных покрытий каналов, водоемов и прудов-накопителей за период 1930–2015 гг. Выделено шесть этапов развития исследований в этом направлении: от использования простейших грунтополимерных экранов, представляющих собой смесь грунта и отходов производства, пленочных экранов из нестабилизированного и стабилизированного полиэтилена толщиной от 0,05 до 0,4 мм до применения современных более надежных экранов из геосинтетических материалов – геомембран из полиэтилена высокого давления толщиной 1,0–3,0 мм и геокомпозитных материалов, представляющих сочетание двух-трех различных геосинтетических материалов. На основе опыта применения геосинтетических материалов в международной и российской практике предложена классификация таких материалов для противофильтрационных покрытий и дренажных систем. Анализ сводных данных показателей технической эффективности и надежности противофильтрационных устройств из геосинтетических материалов ведущих зарубежных и отечественных компаний позволил обосновать значения допускаемых показателей их водонепроницаемости с осредненным коэффициентом фильтрации 10^{-8} – 10^{-10} см/с и

нормативные показатели долговечности со сроком службы 50–100 лет, что соответствует расчетному сроку службы ГТС I–IV класса по действующим нормам.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, противофильтрационные покрытия, классификация, показатели, техническая эффективность, надежность, водонепроницаемость, долговечность.

В статье в историческом аспекте за более чем 85-летний период рассматриваются этапы применения полимерных и геосинтетических материалов для противофильтрационных покрытий каналов, водоемов и прудов – накопителей жидких отходов. С этой целью выделяются шесть этапов развития исследований в этом направлении (таблица 1).

В начальный период (1930–1950 гг.) исследовались и стали применяться простейшие экраны, так называемые грунтополимерные, представляющие собой смесь грунта и отходов производства или полученные путем пропитки вяжущими (битумом, нефтью).

Затем на втором и третьем этапах (1950–1980 гг.) стали применяться пленочные экраны из полиэтилена или поливинилхлорида толщиной от 0,05 до 0,40 мм: в начале этого периода из нестабилизированной (сажей), а затем из стабилизированной пленки специально выпускаемой марки С для водохозяйственного строительства.

На четвертом этапе (1980–1990 гг.) как за рубежом, так и у нас в стране использовались листовые полимерные экраны из бутилкаучука и этилен-пропиленового каучука толщиной от 1,0 до 2,0 мм, обладающие большой гибкостью и относительным удлинением.

На пятом этапе у нас в стране (1990–2010 гг.) применяются уже новые, более надежные экраны из геосинтетических материалов, которые за рубежом нашли широкое применение значительно раньше, за 20–30 лет до этого. К данным материалам относятся геомембраны толщиной от 0,5 до 3,0 мм.

На последнем этапе (2010–2015 гг.) в настоящее время находят применение экраны из геокомпозитных материалов, представляющих собой сочетание двух или более геосинтетических материалов, например геомембраны и геотекстиля. Применение геокомпозитных материалов обеспечивает более высокую эксплуатационную надежность противофильтрационных покрытий с осредненным коэффициентом фильтрации 10^{-8} – 10^{-10} см/с и сроком службы в пределах 50–100 лет.

Таблица 1 – Этапы применения полимерных и геосинтетических материалов для противофильтрационных целей

Этап	Год	Тип экрана	Характеристика материала	Противо-фильтрационный эффект, раз	Осредненный коэффициент фильтрации, см/с	Срок службы, лет
1	2	3	4	5	6	7
I	1930–1950	Грунтополимерный	Смесь грунта и отходов производства (гумбрин, КОСЖК и др.), пропитка грунта вяжущими (битумом и нефтью)	3–5	10^{-4}	≤ 5

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
II	1950–1960	Пленочный	Нестабилизированная пленка из ПЭ и ПВХ, $\delta = 0,05–0,10$ мм	5–10	$10^{-4}–10^{-5}$	5–7
III	1960–1980	Грунтопленочный, бетонопленочный	Стабилизированная пленка из ПЭВД (ПЭНП), $\delta = 0,2–0,4$ мм	10–100	$10^{-5}–10^{-6}$	20–40
IV	1980–1990	Листовой	Бутилкаучук и этиленпропиленовый каучук, $\delta = 1,0–2,0$ мм	10–20	$10^{-5}–10^{-6}$	10–25
V	1990–2010	Геосинтетический	Геомембрана из ПЭВД и ПЭНД, $\delta = 0,5–3,0$ мм	100–1000	$10^{-7}–10^{-8}$	25–50
VI	2010–2015	Геокомпозитный	Геокомпозит (геомембрана + геотекстиль) $\delta = 1,0–4,0$ мм	1000–10000	$10^{-8}–10^{-10}$	50–100

На разных этапах исследованиями и внедрением приведенных противофильтрационных покрытий в России и ближнем зарубежье занимались многие научно-исследовательские проектные и учебные институты: ВНИИВодполимер, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Союзгипроводхоз, Севкавгипроводхоз, ВНИИГиМ, ЮжНИИГиМ (РосНИИПМ), СибНИИГиМ, УкрНИИГиМ, Укргипроводхоз, НИМИ (НГМА), МГМИ (МГУП), ГрузНИИГиМ, САНИИРИ. Среди ученых, сделавших большой вклад в исследование новых полимерных материалов для противофильтрационных экранов, следует отметить родоначальников этого направления И. Е. Кричевского, В. Д. Глебова, В. В. Сокольскую, А. А. Миронова, И. М. Елшина, а также их последователей В. П. Лысенко, Ю. М. Косиченко, А. Р. Гвенетадзе, Л. Е. Чернышевскую, С. Н. Ворошнова, А. Г. Алимова, Н. А. Кильдишева, В. А. Бородина, В. С. Родионова, В. Н. Белобородова, А. Р. Горбачева и других. Кроме того, в последние годы большую роль в применении геосинтетических материалов для противофильтрационных устройств сыграли В. П. Радченко, С. В. Сольский, В. А. Белов, А. В. Ищенко, М. А. Чернов, О. И. Гладштейн, О. А. Баев и другие.

В настоящее время геосинтетические материалы нашли уже широкое применение в гидротехническом строительстве за рубежом [1]. Они применяются в качестве противофильтрационных устройств, дренажей, армирующих элементов, а также в виде берегозащитных и берегоукрепительных конструкций для откосов грунтовых дамб, плотин и для защиты поверхности бетонных плотин.

Геосинтетические материалы относятся к полимерным материалам с высокой молекулярной массой, макромолекулы которых состоят из большого числа повторяющихся молекулярных звеньев и включают атомы углерода с ковалентными связями. Такие материалы воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородных по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны в строительстве [2].

Активное применение геосинтетических материалов или геосинтетиков при возведении гидротехнических и мелиоративных сооружений началось в разных странах мира в конце 50-х гг. прошлого столетия. Первоначально это были тонкие пленочные покрытия. Исследования фильтрационных потерь, проведенные в натурных условиях ЮжНИИГиМ на облицованных каналах Северного Кавказа [3], показали, что даже применение пленочных облицовок при хорошем качестве их строительства обеспечивает высокий технический КПД каналов (до 0,97–0,98).

В дальнейшем по мере развития технологии производства, повышения качества, долговечности начался выпуск геомембран с более высокими физико-механическими свойствами увеличенной толщины от 1,0 до 3,0 мм. Кроме того, стали выпускаться и различные типы геотекстилей. Так как геомембраны были предназначены для противофильтрационных целей, их коэффициент фильтрации в конструкциях облицовок принимался не более 10^{-8} см/с, а геотекстили выпускались проницаемыми с коэффициентом фильтрации не менее 30 м/сут.

Однако в России на сегодня в гидротехническом строительстве геосинтетические материалы используются очень редко, в основном при устройстве фильтрующих и изоляционных элементов грунтовых плотин [4]. Такое же положение наблюдается в водохозяйственном и мелиоративном строительстве, где находит применение только геотекстура для дренажа. Большее применение у нас в стране находят лишь геомембраны для гидроизоляции природоохранных сооружений (прудов-накопителей, шламохранилищ, хвостохранилищ) [5].

С учетом опыта применения геосинтетических материалов в международной практике и в России автором совместно с О. А. Баевым предложена усовершенствованная классификация геосинтетических материалов, применяемых в гидротехническом строительстве для противофильтрационных покрытий и дренажных систем (рисунок 1) [6], которая включает в себя классификацию по версии IGS – Международного геосинтетического общества. В скобках приводятся символы, которыми обозначаются различные виды геосинтетиков по версии IGS.

В данной классификации геосинтетические материалы разделяются на две группы: водонепроницаемые и водопроницаемые. К водонепроницаемым относятся геомембраны, которые могут изготавливаться из полиэтилена высокого и низкого давления, поливинилхлорида, полипропилена, этиленпропилена и битума. К ним также относятся геокомпозитные материалы, представляющие собой сочетание двух-трех различных геосинтетических материалов (например: геомембрана и геотекстиль, геомембрана и георешетка, геомембрана, георешетка и геотекстиль), а также бентонитовые маты на основе кальциевого или натриевого наполнителя.

Водопроницаемые материалы делятся на две группы: геотекстильные и геотекстильноподобные материалы. К геотекстильным относятся различного типа геотекстили нетканые и тканые, а также геоткани. В свою очередь, геотекстильноподобные материалы включают георешетку, геосетку, геоматы, дренажные маты и другие виды.

В таблице 2 приведены сводные данные о технической эффективности и эксплуатационной надежности, в частности показатель водонепроницаемости (допускаемое значение осредненного коэффициента фильтрации геомембраны или бентомата, соответственно $k'_{ГМ,доп}$ или $k'_{БМ,доп}$) и показатель долговечности (нормативное значение срока службы геомембраны или бентомата, соответственно $\tau_{ГМ,нор}$ или $\tau_{БМ,нор}$), которые приняты по данным зарубежных компаний и организаций России [7].

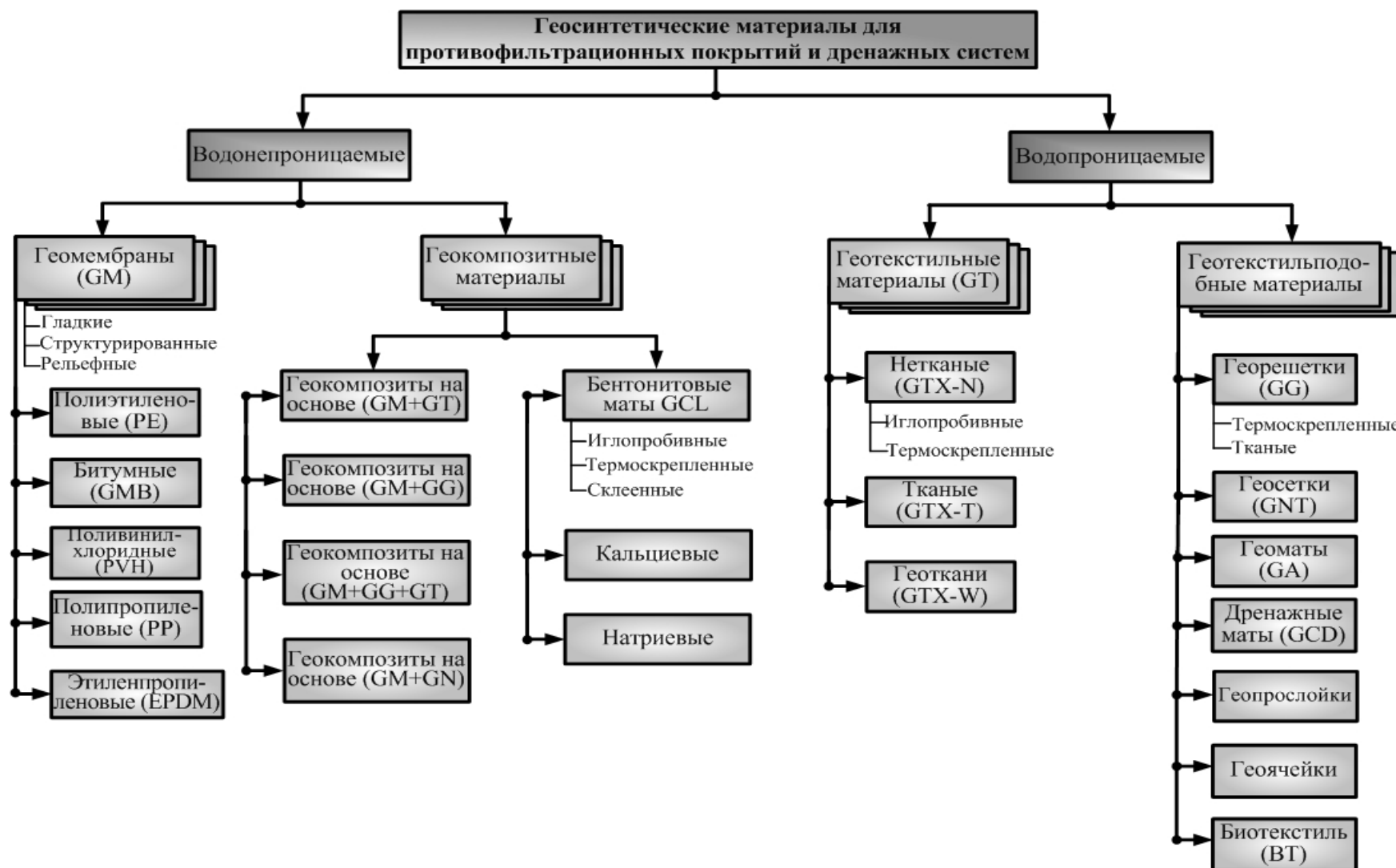


Рисунок 1 – Классификация геосинтетических материалов, применяемых в гидротехническом строительстве для противофильтрационных покрытий и дренажных систем

Таблица 2 – Сведения о показателях технической эффективности и эксплуатационной надежности геомембран и бентоматов в конструкциях противофильтрационных экранов

Показатель	Компания	Тип материала	Требуемое значение
Показатель водонепроницаемости полимерной геомембраны $k'_{ГМ.ДОП}$, см/с	Компания Carpi (Швейцария) [7]	ПВХ	$10^{-8}-10^{-10}$
	По данным зарубежных компаний [1]	ПВХ и ПЭ	$10^{-12}-10^{-13}$
	Международный институт геосинтетиков (США) [7] (G-RI GM 13, GRI GM 17) [5, 6]	ПЭВД и ПЭНД	$(1,10-2,32) \cdot 10^{-10}$
	ФГБНУ «РосНИИПИМ» [5, 6]	То же	не более 10^{-8}
	ООО СК «Гидрокор» [7] (ТУ 5774-002-39504194-97)	То же	$(1,10-2,32) \cdot 10^{-10}$
Коэффициент фильтрации бентоматов $k_{БМ.ДОП}$, см/с	Бентоматы Nabento, компания Huesker (Германия)	Тканый и нетканый геотекстиль, бентонит	$5 \cdot 10^{-9}$
	Бентоматы Bentofix, компания NAUE (Германия)	То же	$5 \cdot 10^{-10}$
	Бентоматы Bentomat, Volclay, компания Cetco (Польша)	То же	$(3/7) \cdot 10^{-9}$ $5 \cdot 10^{-10}$
Требования к проницаемости геологического барьера (экрана) $k_{1,5}$, см/с	Директива Евросоюза № 1999/31 для полигонов захоронения: - опасных и неопасных отходов; - инертных отходов [7]	-	Не более $1 \cdot 10^{-7}$ Не более $1 \cdot 10^{-5}$
Показатель долговечности (срока службы) геомембраны $\tau_{ГМ.НОР}$, лет	Компания Carpi (Швейцария) [7]: - для защищенных геомембран под водой; - для постоянно открытых геомембран	ПВХ	200 50
	Немецкий институт технического строительства DIBT	ПЭВД и ПЭНД	500
	Компания «Техполимер» (ТУ 2246-001-56910145-2004)	ПЭВД и ПЭНД	Не менее 25
	Компания «Полипайн»	То же	80
	ФГБНУ «РосНИИПИМ» [5, 6]	То же	Не менее 50
Срок службы бентоматов $\tau_{БМ.НОР}$, лет	Бентоматы Bentofix, компания NAUE (Германия)	То же	Не менее 200
	Бентоматы EVROBENT 5000, компания EVROBENT (Польша)	То же	Гарантийный 50

Анализ этих данных свидетельствует о большом разбросе значений допускаемых показателей водонепроницаемости и долговечности, отличающихся в ряде случаев на два-четыре порядка. В связи с этим предлагается принять в качестве рекомендуемого допускаемого значения показателя водонепроницаемости геомембраны верхний предел

численных значений $k'_{ГМ,доп} = 10^{-8} - 10^{-10}$ см/с, что пойдет в запас расчета при проектировании и эксплуатации объектов с облицовками из полимерных геомембран.

В качестве рекомендуемого нормативного срока службы геомембраны в конструкциях противофильтрационных облицовок могут использоваться значения, близкие к нижнему пределу: $\tau_{ГМ,нор} = 50 - 100$ лет, что также идет в запас расчета и будет соответствовать принятому расчетному сроку службы ГТС согласно СП 58.13330.2012 для сооружений I–IV класса.

Применительно к бентоматам (таблица 2) могут быть рекомендованы следующие значения допускаемых (нормативных) показателей: $k'_{БМ,доп} = 5 \cdot 10^{-9}$ см/с; $\tau_{БМ,нор} = 50 - 100$ лет.

Выводы

1 Представлены этапы применения полимерных и геосинтетических материалов для противофильтрационных целей за период 1930–2015 гг., в котором выделены шесть этапов развития исследований в этом направлении.

2 Несмотря на длительный период развития исследований и применения полимерных и геосинтетических материалов в мировой и отечественной практике для различных противофильтрационных устройств, они еще недостаточно используются в России для облицовки каналов, водоемов и грунтовых плотин.

3 Предложена классификация геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве для противофильтрационных покрытий и дренажных систем, в которой все материалы разделяются на две группы: водонепроницаемые и водопроницаемые.

4 Анализ сводных данных о технической эффективности и эксплуатационной надежности противофильтрационных устройств из геосинтетических материалов ведущих зарубежных и отечественных компаний позволил обосновать значения допускаемых и нормативных показателей их водонепроницаемости и долговечности, внедрение которых обеспечит прогресс в этой области.

Список использованных источников

1 Радченко, В. Г. Применение геосинтетических материалов при строительстве плотин / В. Г. Радченко, В. М. Семенов // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 10. – С. 50–54.

2 Полимерные пленочные материалы / под ред. В. Е. Гуля. – М.: Химия, 1976. – 370 с.

3 Косиченко, Ю. М. Исследования фильтрационных потерь из каналов оросительных систем / Ю. М. Косиченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 24–25.

4 Геосинтетические материалы в гидротехническом строительстве / В. Б. Глазовский, С. В. Сольский, М. Г. Лопатина, Н. В. Дубровская, Н. Л. Орлова // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 9. – С. 23–27.

5 Косиченко, Ю. М. Гибкие конструкции противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий с применением геосинтетических материалов / Ю. М. Косиченко, А. В. Ломакин // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 73–79.

6 Косиченко, Ю. М. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 239 с.

7 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.