

Анализ требований к водопаропроницаемости композиционных текстильных материалов с мембранным слоем

Д.К. Панкевич^а, Е.А. Шеремет, А.И. Князева
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь
^аE-mail: dashapan@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены варианты методик, используемых для определения водопаропроницаемости композиционных текстильных материалов с мембранным слоем, и рекомендации по выбору базового значения коэффициента водопаропроницаемости. Показано, что для повышения точности оценки необходимо руководствоваться рекомендациями, которые получены в сопоставимых условиях, контролируемых величиной градиента парциальных давлений водяного пара по обе стороны исследуемого образца.

Ключевые слова: мембранные материалы, водопаропроницаемость, гравиметрический метод, условия испытаний, базовое значение, оценка.

Analysis of Requirements for Water Permeability of Composite Textile Materials with a Membrane Layer

D. Pankevich^a, E. Sheremet, A. Knyazeva
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
^aE-mail: dashapan@mail.ru

Annotation. The variants of the techniques used to determine the vapor permeability of composite textile materials with a membrane layer and recommendations for the choice of the base value of the vapor permeability coefficient are considered. It is shown that in order to increase the accuracy of the assessment it is necessary to be guided by recommendations, which are obtained under comparable conditions controlled by the value of the gradient of partial pressures of water vapor on both sides of the studied sample.

Key words: membrane materials, water vapor permeability, gravimetric method, test conditions, reference value, evaluation.

Водонепроницаемые материалы, обладающие способностью пропускать пары воды, стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Они находят широкое применение в легкой промышленности при производстве одежды. Водозащитными свойствами должны обладать следующие ассортиментные группы основных классов одежды: бытовая одежда (куртки, плащи, дождевики, штормовки); специальная одежда (куртки и плащи для защиты от воды, костюмы рыбаков, охотников); спортивная одежда (костюмы и куртки для занятий туризмом, рафтингом, каякингом, яхтенным спортом, альпинизмом, комбинезоны, костюмы для сплава) и т. п.

Большое значение для водозащитных материалов имеют свойства, обеспечивающие необходимую теплоизоляцию организма человека и определяющие его тепловое состояние [1]. Водопаропроницаемость является одним из таких свойств. Для водозащитных композиционных текстильных материалов (КТМ),

содержащих полимерный мембранный слой, показатель водопаропроницаемости нормируется наряду с показателями водонепроницаемости, поскольку он определяет уровень комфортности одежды из КТМ.

Водопаропроницаемость (water vapour permeability, WVP) – величина, определяемая как способность пропускать водяной пар выше нормативного уровня, сохраняя при этом высокую степень водонепроницаемости [2]. Определяется WVP гравиметрическим методом как отношение убыли массы воды, испарившейся за определенное время в контролируемых условиях через образец, к площади этого образца. Измеряют показатель WVP в г/м²/24 ч.

Количество пара, проходящего через КТМ различными путями в условиях относительно спокойного воздуха, зависит от пористости и сорбционной способности материала, обусловленных химической природой волокон текстильного слоя,

гигроскопическими свойствами и структурными характеристиками мембранного слоя [3]. Процесс переноса водяного пара из пространства под одеждой в окружающую среду нестабилен во времени. Кинетика его сложна и определяется множеством взаимозависимых факторов. Поэтому любая характеристика этого процесса непрерывно изменяется в зависимости от интенсивности физической активности человека в одежде и от погодных условий.

В общем случае водопаропроницаемость увеличивается с увеличением разности парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала. Парциальное давление водяного пара является одной из характеристик влажности воздуха и зависит от его температуры.

По данным литературных источников погодные условия (кроме температуры, которая является самым значимым фактором) по убыванию влияния на водопаропроницаемость одежды располагаются в следующем ряду: ветер, пониженная влажность наружного воздуха, дождь [4]. Очевидно, что с увеличением физической активности (повышением температуры и влажности пододежного пространства) водопаропроницаемость материала повышается вследствие увеличения градиента давлений водяного пара. Именно поэтому чаще всего водопаропроницаемость определяют в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, чтобы получить ориентировочное представление о том, сколько водяного пара в единицу времени через единицу площади способен транспортировать материал и сделать соответствующие выводы о соответствии материала назначению. Причем наблюдается чрезвычайное разнообразие методик и средств исследования показателей водопаропроницаемости [3], которые, по сути, являются реализациями гравиметрического метода при различных условиях. Эти методики основаны на том, что исследуемый образец является герметизирующей мембраной сосуда, содержащего воду или поглотитель влаги. Сосуд с образцом помещают на определенное время в контролируемые условия, чтобы создать разность концентрации водяных паров по обе стороны от исследуемого материала. Испытательную конструкцию взвешивают до и после проведения опыта, и на основании полученных результатов рассчитывают коэффициент водопаропроницаемости – абсолютный показатель количества водяных паров, проходящих через единицу площади материала за единицу времени. В зависимости от методики испытания проводятся с

перепадом температур по сторонам образца или без него; при неподвижном наружном воздухе или с заданной скоростью движения наружного воздуха [5].

Производители мембранных материалов используют различные методики определения коэффициента водопаропроницаемости для предоставления потребителям информации о способности материала выводить пары влаги из пододежного пространства. Обычно сведения о водопаропроницаемости КТМ позиционируются как один из показателей комфортности материала, а метод определения водопаропроницаемости выбирается по принципу представления наилучшего результата тестирования (и умалчивания о других результатах).

Для принятия решения о соответствии материала назначению величину водопаропроницаемости КТМ, установленную экспериментально, сравнивают с рекомендуемым (базовым) значением.

Проблема заключается в том, что выбор базового значения водопаропроницаемости при оценке соответствия КТМ назначению становится неочевидным, если методика его определения не конкретизирована.

Целью данной работы является анализ требований к водопаропроницаемости КТМ, измеренной по стандартным гравиметрическим методикам, для разработки рекомендаций по выбору базового значения показателя при оценке соответствия материалов предполагаемому назначению.

В таблицах 1 и 2 представлены нормы коэффициента водопаропроницаемости материалов для водонепроницаемой одежды, регламентируемые ГОСТ Р 57514-2017 [2] и целевое назначение материалов.

Условия проведения испытаний по ГОСТ 57514-2017 следующие: температура воды в испытательной конструкции (20±2) °С, влажность воздуха снаружи испытательной конструкции (65±5) %, скорость движения воздуха снаружи испытательной конструкции не более 0,1 м/с.

В качестве оценочного ориентира выбрали данные исследования Дж. Вильямса по суточной норме потоотделения, опубликованные в источнике [6] (табл. 3), и данные о рекомендуемых значениях коэффициента водопаропроницаемости, опубликованные на сайте компании-продавца одежды из мембранных материалов [7] и представленные в таблице 4. Рекомендации, представленные в таблице 4, приблизительно соответствуют показателям уровня потоотделения в таблице 3.

Таблица 1 – Минимально допустимый уровень водопаропроницаемости

Показатель, единицы измерения	Минимальное значение показателя согласно кодам идентификации				
	A	B	C	D	E
WVP, г/м ² /24 ч	560	440	480	480	360

Таблица 2 – Коды идентификации

Код	Краткое описание назначения КТМ
А	Съемные изделия кратковременного использования в сочетании с рабочей одеждой и одеждой для активного отдыха
В	Верх и накладные детали одежды для продолжительной легкой активности
С	Верх одежды для продолжительной средней и высокой активности
Д	Верх рабочей одежды для продолжительной активности
Е	Верх рабочей одежды для продолжительной активности в тяжелых условиях

Таблица 3 – Показатели потоотделения человека при различной активности при температуре воздуха 23°C и относительной влажности воздуха 65 % [6]

Деятельность	Суточная норма потоотделения, г/м ² /24 ч
Сон	450...2 280
Бодрствование сидя	3 750...3 800
Ходьба прогулочным шагом	7 550...7 600
Активная ходьба без рюкзака	11 480...11 500
Активная ходьба с легким рюкзаком	15 180...15 200
Активная ходьба с тяжелым рюкзаком	18 900...19 000
Восхождение в гору с тяжёлым рюкзаком	22 700...30 400
Максимальная скорость работы	38 300...45 600

Таблица 5 – Сравнительный анализ условий определения водопаропроницаемости [8]

Стандартный метод или условия	Сторона высокого давления		Сторона низкого давления		Градиент давлений пара, Па
	температура, °С	влажность воздуха, %	температура, °С	влажность воздуха, %	
ИСО 11092:1993	35	100	35	40	3093
ИСО 15496:2004	23	100	23	23	2168
ИСО 8096:2005	20	100	20	65	818
JIS L 1099(A1)	40	90	40	0	6638
Различные климатические условия и условия эксплуатации	37	100	6	100	5330
	37	100	0	0	5840
	35	100	35	0	5623
	20	100	20	0	2338
	5	100	5	0	872
	-5	100	-5	0	201

Из данных таблицы 5 видно, что градиент давлений существенно изменяется в зависимости от величин температуры и влажности, создаваемых по

Таблица 4 – Рекомендации компании-продавца одежды из КТМ [7]

Физическая активность	Рекомендуемое значение WVP, г/м ² /24 ч
Высокая (бег по пересеченной местности, горный байкинг, альпинизм)	свыше 20 000
Средняя (скалолазание, спуск на лыжах)	свыше 10 000 до 20 000
Низкая (передвижение по городу)	от 5 000 до 10 000

Анализ данных таблиц 1, 2 и 3, 4 позволил сделать первоначальный вывод о том, что минимально допустимый стандартом уровень показателя заведомо не обеспечивает требуемую скорость транспортирования паров воды. Согласно данным Дж. Вильямса о потоотделении человека, минимальной нормы по ГОСТ Р 57514-2017 едва достаточно, чтобы обеспечить комфорт спящего человека. Кроме того, с возрастанием активности носчика снижается минимально допустимый стандартом уровень нормы, что, на первый взгляд, не соответствует логике, данным о потоотделении человека (которое, естественно, увеличивается с увеличением активности) и рекомендациям компании-продавца одежды из КТМ.

Для того, чтобы глубже понять проблему оценки уровня показателя водопаропроницаемости КТМ, необходимо проанализировать условия испытаний, моделируемые различными методиками исследования водопаропроницаемости.

В источнике [8] опубликован анализ условий определения водопаропроницаемости (табл. 5).

разные стороны материала. Так, при условиях, сопоставимых с условиями методики определения водопаропроницаемости по ГОСТ Р 57514-2017

(в таблице 4 это условия испытаний по ИСО 8096:2005), градиент давлений водяного пара составляет 818 Па. А ближе всего к условиям эксперимента Дж. Вильямса условия по ИСО 11092:1993, при которых градиент давлений водяного пара составляет 3093 Па, что почти в 4 раза больше. Следовательно, сравнение норм ГОСТ Р 57514-2017 и данных эксперимента Дж. Вильямса некорректно и лишено логического смысла.

Приборная база для определения коэффициента водопаропроницаемости текстильных материалов гравиметрическим методом представлена различными

по конструкции средствами. Результаты, полученные с помощью различных стандартных методик и средств исследования, реализующих гравиметрический метод, отражены в источнике [9]. Схемы опытов представлены на рисунке 1.

В таблице 6 представлены результаты исследования КТМ, обладающих наивысшими значениями коэффициента водопаропроницаемости. Эти материалы принадлежат к структурному типу двухслойных КТМ с гидрофобной пористой мембраной и получены наносным и переносным способами (microporous coatings/laminate).

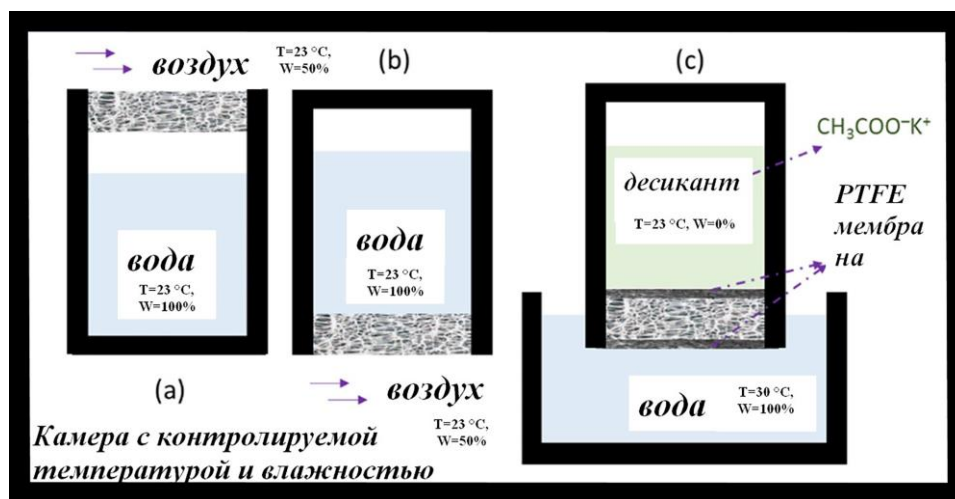


Рисунок 1 – Схемы испытательных конструкций для определения водопаропроницаемости КТМ по стандартным гравиметрическим методикам:

а – методика ASTM E 96B; б – методика ASTM E 96BW; в – методика JIS L 1099 B1

Таблица 6 – Значения WVP, г/м²/24 ч [9]

Обозначение стандарта	ASTM E 96 B (а)	ASTM E 96 BW(б)	JIS L 1099B1(в)
Entrant G2–XT	926,0	5084,8	21272,8
eVent (Nylon fabric)	984,8	7265,6	27825,6
eVent (Polyester fabric)	942,8	6201,6	20716,0
Helly-Tech® Extreme	785,2	3056,8	6696,0
Omni-Tech Dry 5	913,6	5317,2	16728,8
Proof Ace (type M)	690,8	3012,8	6050,4
Triple Point Ceramic	776,8	2972,0	5305,6

Анализ данных, представленных в таблице 6, показывает, что многовариантность конструктивных решений приборной базы и моделируемых условий испытаний приводит к существенным различиям в значениях результатов испытаний.

Методики ASTM E 96B (а) и ASTM E 96BW (б) различаются только положением испытательной чаши (вертикально стоящая и перевернутая соответственно) и наличием либо отсутствием контакта воды с образцом. При этом результаты исследования одного и того же образца КТМ отличаются на порядок. Для методики JIS L 1099 B1 (в) наблюдаем еще больший скачок величины

показателя, в ней условия испытаний таковы, что обеспечивается значительный градиент температур и используется иной способ определения убыли воды из испытательной чаши и иная испытательная конструкция. Образец материала контактирует с политетрафторэтиленовой мембраной, с изнаночной стороны отделяющей его от воды, а с лицевой – от раствора ацетата калия (поглотитель влаги). Считается, что политетрафторэтиленовая мембрана не препятствует прохождению паров воды, являясь при этом непроницаемой для капельножидкой влаги. Хотя физическая сущность всех трех проанализированных методик одина.

Для повышения точности оценки уровня водопаропроницаемости КТМ важно соотносить условия испытаний, моделируемые методом, с реальными условиями эксплуатации материала, чтобы выбрать метод испытания и адекватно оценить известное значение показателя. А при выборе базового значения показателя использовать рекомендации, в которых значение водопаропроницаемости получены аналогичным способом либо могут быть сопоставимы исходя из анализа условий испытаний.

Например, в стандарте ГОСТ Р 57514-2017, с которого был начат анализ величины показателя водопаропроницаемости, условия испытаний сопоставимы с условиями методики ASTM E 96В (рис. 1 а): температура воды в испытательной конструкции (20 ± 2) °С и 23 °С, влажность воздуха снаружи испытательной конструкции (65 ± 5) % и 65 %, скорость движения воздуха снаружи испытательной конструкции не более 0,1 м/с и 2,5 м/с. Сравнивая данные соответствующего столбца таблицы 6 и нормы минимально допустимого уровня коэффициента водопаропроницаемости по ГОСТ Р 57514-2017 (табл. 1), приходим к выводу, что такое сравнение в принципе возможно – порядок цифр одинаков, а наилучший результат в два раза превышает норму, что не противоречит логике.

То же можно сказать о сравнении данных о суточном потоотделении (табл. 3) и значений показателя водопаропроницаемости лучших образцов КТМ, измеренного по методике JIS L 1099 В1 (рис. 1 с). Заметно, что некоторые материалы способны полностью обеспечить комфорт носчика при активной ходьбе с тяжелым рюкзаком. Требуемый и измеренный уровень показателя сопоставимы, поскольку показатели определены в похожих условиях. При измерении потоотделения обеспечивается подобный методике JIS L 1099 В1 градиент температур: средневзвешенная температура кожи находится в пределах 31,0–34,5°С [1], а температура окружающего воздуха при измерении потоотделения составила 23 °С, следовательно, градиент температур при измерении потоотделения составил порядка 10 °С, а по методике JIS L 1099 В1 – 7 °С. Заметно, что значения коэффициента водопаропроницаемости, полученные по методике ASTM E 96 ВВ (b), не «укладываются» ни в нормы ГОСТ Р 57514-2017, ни в данные о потоотделении человека, ни в рекомендации, представленные в таблице 4. При получении этих результатов между водой, моделирующей нагретое человеческое тело, и поверхностью образца отсутствует какая-либо (полимерная или воздушная) прослойка и вода непосредственно контактирует с изнаночной стороной

образца. Получается, что в качестве базового значения для оценки результатов, полученных по методике ASTM E 96 ВВ (b), необходимы другие данные, полученные в подобных условиях, которыми оценивающий может и не располагать.

В результате анализа требований к значению показателя коэффициента водопаропроницаемости КТМ можно сделать вывод, что согласно ГОСТ Р 57514-2017 минимально допустимое его значение для КТМ, используемых в одежде при высокой физической активности носчика, составляет 360 г/м²/24 ч, компании-продавцы одежды из КТМ предлагают ориентироваться на уровень не ниже 20 000 г/м²/24 ч, а научные исследования показывают, что потоотделение человека при таком уровне физической активности составляет порядка 40 000 г/м²/24 ч. Такой разброс рекомендуемых значений обусловлен различиями в методиках и средствах реализации гравиметрического метода определения водопаропроницаемости, что приводит к получению существенно разных результатов для одного и того же образца КТМ. Поэтому интерпретация результатов испытаний зависит от используемой методики.

Таким образом, при оценке соответствия КТМ предполагаемому назначению выбор базового значения показателя водопаропроницаемости должен основываться на следующих рекомендациях:

- стандартное нормативное значение показателя можно использовать в качестве базового значения только при полном соответствии методики испытания рекомендациям стандарта;
- если выбор базового значения основывается на экспериментальных данных о значениях водопаропроницаемости лучших образцов КТМ, предоставленных в открытом доступе, необходимо убедиться в том, что выбранная для исследования водопаропроницаемости методика соответствует методике испытаний, при которой получено базовое значение, иначе оценка будет неадекватной;
- в связи с многовариантностью применяемых методик, при выборе базового значения коэффициента водопаропроницаемости необходимо руководствоваться рекомендациями, которые получены при сопоставимых условиях, контролируемых величиной градиента парциальных давлений водяного пара по обе стороны от исследуемого образца. Для этого нужно сопоставить условия испытаний и убедиться в том, что разность значений температуры и разность значений влажности воздуха под и над образцом сопоставимы, а в идеале одинаковы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности : монография / А. П. Жихарев [и др.] ; М-во образ. и науки РФ, Казан. технол. ун-т. – Казань : КГТУ, 2011. – 232 с.
2. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия : ГОСТ Р 57514–2017. – Введ. 2018.04.01. – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2017. – 24 с.

3. Буркин, А. Н. Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов : монография / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич ; под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 190 с.
4. Holmes, D. A. Waterproof breathable fabrics / D. A. Holmes. – England ; Cambridge : The Textile Institute, 2000. – 576 p.
5. Williams, J. T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. T. Williams. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2018. – 590 p.
6. Светлов, Ю. В. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности : учеб. пособие для ВУЗов / Ю. В. Светлов. – М. : Академия, 2003. – 384 с.
7. Разумно о мембранах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html/>. – Дата доступа: 30.08.2022.
8. Smith, W. Smart Textile Coatings and Laminates / William Smith. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2010. – 320 p.
9. Tehrani-Bagha, A. R. Waterproof breathable layers – A review / A. R. Tehrani-Bagha // Advances in Colloid and Interface Science. – 2019. – Vol. 268. – P. 114–135.

REFERENCES

1. Influence of environmental factors on light industry materials : monograph / A.P. Zhikharev [et al.] ; M-in the image. and sciences of the Russian Federation, Kazan. technol. un-t. – Kazan : KSTU, 2011. – 232 p.
2. Rubber or polymer coated fabrics for waterproof clothing. Specifications : GOST R 57514–2017. – Input. 2018.04.01. – М. : FSUE "Standartinform", 2017. – 24 p.
3. Burkin, A. N. Hygienic properties of membrane textile materials : monograph / A. N. Burkin, D. K. Pankevich ; under total ed. A. N. Burkina. – Vitebsk : EE "VGTU", 2020. – 190 p.
4. Holmes, D. A. Waterproof breathable fabrics / D. A. Holmes. – England ; Cambridge : The Textile Institute, 2000. – 576 p.
5. Williams, J. T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. T. Williams. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2018. – 590 p.
6. Svetlov, Yu. V. Thermomoiature processes in materials and products of light industry : textbook allowance for universities / Yu. V. Svetlov. – М. : Academy, 2003. – 384 p.
7. Reasonably about membranes [Electronic resource]. – Access mode: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html/>. – Access date: 08/30/2022.
8. Smith, W. Smart Textile Coatings and Laminates / William Smith. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2010. – 320 p.
9. Tehrani-Bagha, A. R. Waterproof breathable layers – A review / A. R. Tehrani-Bagha // Advances in Colloid and Interface Science. – 2019. – Vol. 268. – P. 114–135.

SPISOK LITERATURY

1. Vlijanie faktorov okružhajushhej sredy na materialy legkoj promyshlennosti : monografija / A. P. Zhiharev [i dr.]; M-vo obraz. i nauki RF, Kazan. tehnol. un-t. – Kazan' : KGTU, 2011. – 232 s.
2. Tkani s rezinovym ili polimernym pokrytiem dlja vodonepronicaemoj odezhdy. Tehnicheskie uslovija : GOST R 57514–2017. – Vved. 2018.04.01. – М. : FGUP «Standartinform», 2017. – 24 s.
3. Burkin, A. N. Gigienicheskie svojstva membrannyh tekstil'nyh materialov : monografija / A. N. Burkin, D. K. Pankevich ; pod obshh. red. A. N. Burkina. – Vitebsk : UO «VGTU», 2020. – 190 s.
4. Holmes, D. A. Waterproof breathable fabrics / D. A. Holmes. – England ; Cambridge : The Textile Institute, 2000. – 576 p.
5. Williams, J. T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. T. Williams. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2018. – 590 p.
6. Svetlov, Ju. V. Termovlazhnostnye processy v materialah i izdelijah legkoj promyshlennosti : ucheb. posobie dlja VUZov / Ju. V. Svetlov. – М. : Akademija, 2003. – 384 s.
7. Razumno o membranah [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html/>. – Data dostupa: 30.08.2022.
8. Smith, W. Smart Textile Coatings and Laminates / William Smith. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2010. – 320 p.
9. Tehrani-Bagha, A. R. Waterproof breathable layers – A review / A. R. Tehrani-Bagha // Advances in Colloid and Interface Science. – 2019. – Vol. 268. – P. 114–135.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022