

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ СПИННОМОЗГОВОЙ ЖИДКОСТИ, СОСУДИСТЫХ СПЛЕТЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА В АСПЕКТЕ ДАВНОСТИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

**Вавилов А.Ю. ORCID ID 0000-0002-9472-7264,
Поздеев А.Р. ORCID ID 0000-0002-6302-5219,
Баяндина С.М. ORCID ID 0009-0005-9888-512X**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Ижевск, Российская Федерация, e-mail: izhsudmed@hotmail.com*

Статья демонстрирует результаты авторских исследований по применению импедансной спектрометрии к постмортальной оценке давности формирования черепно-мозговой травмы. Целью работы послужило изучение спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений головного мозга методами импедансной спектрометрии в аспекте оценки давности смертельной черепно-мозговой травмы. Работа выполнена на практическом судебно-медицинском материале. Используя серийный измеритель RLC «АКИП-6108» на частотах от 0,1 до 100 кГц установлены значения удельной электропроводности спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений головного мозга от 20 трупов лиц обоего пола, умерших в различные сроки посттравматического периода в результате сформировавшейся у них черепно-мозговой травмы. Отмечена закономерная ($p < 0,05$) тенденция уменьшения значений удельной электропроводности с возрастанием частоты электрического тока и направленность ($p < 0,05$) к уменьшению удельной электропроводности спинномозговой жидкости с увеличением давности получения черепно-мозговой травмы (до 8 суток). Коэффициент поляризации спинномозговой жидкости на частотах до 10 кГц снижается, а на частотах 100 кГц, наоборот, увеличивается, что свидетельствует о его информативности с точки зрения установления сроков черепно-мозговой травмы. Наличие взаимосвязи между значениями сроков черепно-мозговой травмы и величиной исследуемых коэффициентов подтверждено в ходе корреляционного анализа. Сделан вывод о целесообразности проведения дальнейших исследований возможностей применения импедансной спектрометрии как диагностического метода постмортальной диагностики давности черепно-мозговой травмы.

Ключевые слова: импедансная спектрометрия, черепно-мозговая травма, давность, спинномозговая жидкость, удельная электропроводность, коэффициент поляризации.

IMPEDANCE SPECTROMETRY OF CEREBRAL SPINAL FLUID AND VASCULAR PLEXUSES IN THE ASPECT OF THE DURATION OF CRANIO-ENCEPHALIC INJURY

**Vavilov A.Yu. ORCID ID 0000-0002-9472-7264,
Pozdeev A.R. ORCID ID 0000-0002-6302-5219,
Bayandina S.M. ORCID ID 0009-0005-9888-512X**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Medical Academy" of the
Ministry of Health of the Russian Federation, Izhevsk, Russian Federation, e-mail: izhsudmed@hotmail.com*

This article presents the results of the authors' research on the application of impedance spectrometry to postmortem assessment of the age of traumatic brain injury. The aim of the study was to examine cerebrospinal fluid and choroid plexuses of the brain using impedance spectrometry for assessing the age of fatal traumatic brain injury. The study was conducted using practical forensic material. Using a commercially available AKIP-6108 RLC meter at frequencies ranging from 0.1 kHz to 100 kHz, the specific conductivity of cerebrospinal fluid and choroid plexuses was determined from 20 cadavers of individuals of both sexes who died at various points in the post-traumatic period as a result of traumatic brain injury. A consistent ($p < 0.05$) trend toward a decrease in specific conductivity values with increasing electric current frequency and a trend ($p < 0.05$) toward a decrease in cerebrospinal fluid specific conductivity with increasing time since traumatic brain injury (up to 8 days) were observed. The cerebrospinal fluid polarization coefficient decreases at frequencies up to 10 kHz and increases at frequencies above 100 kHz, indicating its usefulness in estimating the timing of traumatic brain injury. A correlation analysis confirmed the relationship between the timing of traumatic brain injury and the magnitude of the studied coefficients. A conclusion was drawn regarding the feasibility of further research into the potential application of impedance spectrometry as a diagnostic method for postmortem diagnosis of traumatic brain injury.

timing.

Keywords: impedance spectrometry, traumatic brain injury, duration, cerebrospinal fluid, specific conductivity, polarization coefficient.

Введение

Импедансная спектроскопия как метод исследования электрических свойств материалов и сред путем измерения их полного сопротивления в зависимости от частоты электрического импульса находит свое применение во многих сферах, в том числе медицинских науках. Метод основан на подаче возмущающего сигнала малой амплитуды на исследуемую систему и изучении вызванного им сигнала-отклика на выходе. Отношение возмущения (напряжения, потенциала) к сигналу отклика (току) определяет импеданс. Количественный анализ частотной зависимости импеданса позволяет интерпретировать ее элементы в соответствии с физико-химической природой процессов, протекающих на электродах [Ошибка! Источник ссылки не найден.–3]. Использование коэффициента поляризации (как отношения полного сопротивления ткани на низкой частоте к сопротивлению на высокой частоте) позволяет характеризовать жизнеспособность тканей [4].

В специальной литературе показана заинтересованность в изучении спинномозговой жидкости (СМЖ) при разной тяжести и давности черепно-мозговой травмы (ЧМТ) [5; 6]. Естественно, что при дальнейшем изучении указанной проблемы это раскрывает определенные перспективы для практики судебной медицины [Ошибка! Источник ссылки не найден.–Ошибка! Источник ссылки не найден.]. СМЖ содержит биологически активные вещества, электролиты (хлориды, натрий, калий, магний, йод и др.), обеспечивающие ее токопроводящие свойства [Ошибка! Источник ссылки не найден.; Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В практике получить «чистую» СМЖ при ЧМТ не всегда удается, так как при смещении и деформации мозга происходят нарушения ликвороциркуляции в остром периоде ЧМТ [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Продуцирование СМЖ происходит в основном в сосудистых сплетениях желудочков головного мозга, возможность изучения в таких случаях сосудистых сплетений желудочков головного мозга (ССГМ) показана некоторыми исследователями [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Цель исследования – изучение спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений головного мозга методами импедансной спектроскопии в аспекте оценки давности смертельной черепно-мозговой травмы.

Материал и методы исследования

Работа выполнена на практическом судебно-медицинском материале ГБУЗ ПК «Краевое бюро судебно-медицинской экспертизы и патолого-анатомических исследований», исследованы трупы 20 лиц обоего пола (мужчин 13, женщин 7) в возрасте от 17 до 74 лет в раннем постмортальном периоде, с давностью черепно-мозговой травмы от 0 до 8 суток.

Спинномозговая жидкость в объеме 1–2 мл забиралась при помощи стерильного шприца из желудочков головного мозга в момент его постмортального исследования. Сосудистые сплетения желудочков головного мозга изымались (в объеме 2–3 см³) и помещались в центрифужную пробирку. Спинномозговая жидкость и измельченные сосудистые сплетения желудочков головного мозга подвергались центрифугированию в течение 3–5 мин на 3000 оборотах. Центрифугат сосудистых сплетений желудочков головного мозга и спинномозговая жидкость подвергались измерению полного сопротивления (импеданса) прибором «АКИП-6108» на частотах от 0,1 до 100 кГц. Для характеристики токопроводящих свойств жидкости использованы понятия электропроводности (величина, обратная полному сопротивлению) и удельной электропроводности [14, с. 124–128].

Удельная электропроводность рассчитывалась по формуле

$$УДЭ_{изм}^t = \frac{\theta}{\chi}, \quad (1)$$

где $УДЭ_{изм}^t$ – измеренная удельная электропроводность СМЖ при конкретном значении ее температуры (t) в момент измерения, Ом⁻¹×м⁻¹;

θ – константа кондуктометрической ячейки;

χ – электрический импеданс, Ом.

При расчетах значения удельной электропроводности ($УДЭ_{изм}^t$) приводились к значениям $УДЭ^{25}$ при температуре 25 °С, используя формулу

$$УДЭ^{25} = \frac{\chi^t}{1 + 0,02(t - 25)}, \quad (2)$$

где $УДЭ^{25}$ – удельная электропроводность СМЖ, приведенная к t равной 25 °С, Ом⁻¹×м⁻¹;

χ – электрический импеданс СМЖ при конкретном значении ее температуры (t), Ом.

Данные заносились в таблицы Excel и в последующем подвергались статистической обработке в приложении SPSS 23,0.

Результаты исследования и их обсуждение

Обработанные статистически результаты представлены в табл. 1. Средние значения удельной электропроводности спинномозговой жидкости составили $1,19 \pm 0,629$ Ом⁻¹×м⁻¹, центрифугата сосудистых сплетений желудочков головного мозга – $1,701 \pm 0,922$ Ом⁻¹×м⁻¹ (t = 0,41, p > 0,05). Отмечается закономерная (p < 0,05) тенденция уменьшения значений удельной электропроводности с возрастанием частоты электрического тока, $2,006 \pm 0,669$ Ом⁻¹×м⁻¹ на 0,1

кГц, $1,342 \pm 0,525 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 1 кГц, $0,964 \pm 0,102 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 10 кГц, $0,908 \pm 0,077 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 100 кГц; соответственно центрифугата сосудистых сплетений желудочков головного мозга – $1,701 \pm 0,922 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 0,1 кГц, $1,279 \pm 0,274 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 1 кГц, $1,133 \pm 0,267 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 10 кГц, $1,104 \pm 0,262 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 100 кГц.

Обращает на себя внимание направленность ($p < 0,05$) к уменьшению удельной электропроводности спинномозговой жидкости с увеличением давности получения черепно-мозговой травмы до 8 суток: с $2,006 \pm 0,669$ до $0,998 \pm 0,417 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 0,1 кГц; с $1,342 \pm 0,525$ до $0,462 \pm 0,116 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ на 1 кГц. На частоте электрического тока 100 кГц наблюдаются достоверные ($t = 4,17$, $p < 0,001$) изменения (рост значений) с $0,908 \pm 0,077$ до $1,812 \pm 0,466 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$. Изменения значений удельной электропроводности центрифугата сосудистых сплетений желудочков головного мозга не носят такого выраженного достоверного характера ($p > 0,05$).

Таблица 1

Удельная электропроводность спинномозговой жидкости (СМЖ)
и сосудистых сплетений желудочков головного мозга (ССЖМ)
при разной давности черепно-мозговой травмы (ДЧМТ)

ДЧМТ, суток	УДЭ ²⁵ _СМЖ, $\text{Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$	УДЭ ²⁵ _ССЖМ, $\text{Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$
	0,1 кГц	
0	$2,006 \pm 0,669$	$1,701 \pm 0,922$
1	$1,359 \pm 0,897$	$0,299 \pm 0,014$
4	$0,594 \pm 0,136$	$2,594 \pm 0,003$
6	$2,714 \pm 0,008$	$0,309 \pm 0,001$
8	$0,998 \pm 0,417$	$1,138 \pm 1,032$
	1 кГц	
0	$1,342 \pm 0,525$	$1,279 \pm 0,274$
1	$0,95 \pm 0,496$	$1,548 \pm 0,041$
4	$0,386 \pm 0,099$	$1,196 \pm 0,001$
6	$1,087 \pm 0,001$	$1,871 \pm 0,001$
8	$0,462 \pm 0,116$	$1,42 \pm 0,279$
	10 кГц	
0	$0,964 \pm 0,102$	$1,133 \pm 0,267$
1	$0,902 \pm 0,403$	$1,398 \pm 0,027$
4	$1,131 \pm 0,694$	$1,046 \pm 0,001$
6	$0,889 \pm 0,01$	$1,739 \pm 0,001$
8	$1,181 \pm 1,044$	$1,279 \pm 0,275$
	100 кГц	
0	$0,908 \pm 0,077$	$1,104 \pm 0,262$
1	$0,819 \pm 0,39$	$1,37 \pm 0,026$
4	$1,100 \pm 0,355$	$1,022 \pm 0,001$
6	$0,859 \pm 0,001$	$1,713 \pm 0,004$
8	$1,812 \pm 0,466$	$1,292 \pm 0,292$

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Учитывая полученные результаты, авторами высказана гипотеза об изменении электропроводящих свойств СМЖ и ССЖМ после полученной травмы в зависимости от длительности посттравматического периода. Для подтверждения этой гипотезы и наглядной визуализации изменений рассчитывался коэффициент (К) поляризации как отношение измеренных значений СМЖ и ССЖМ на низкой частоте к сопротивлению на высокой частоте (табл. 2). Учитывались все возможные сочетания: значения 0,1 к 10 кГц ($K_{1/10}$); 1 к 10 кГц ($K_{1/10}$); 0,1 к 100 кГц ($K_{0,1/100}$); 100 к 1 кГц ($K_{1/100}$). Для оценки динамики полного сопротивления на разных частотах в зависимости от давности ЧМТ применялся также коэффициент наглядности (КН) как отношение двух коэффициентов К различных сроков ЧМТ (3).

$$KH = \frac{K_n}{K_0}, \quad (3)$$

где КН – коэффициент наглядности;

K_0 – коэффициент поляризации при давности ЧМТ равной 0 суток;

K_n – коэффициент поляризации при давности ЧМТ равной n суток.

Таблица 2

Коэффициент поляризации (К) и коэффициент наглядности (КН) биологических тканей спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений желудочков головного мозга при разной давности черепно-мозговой травмы (ДЧМТ)

ДЧМТ, суток	K_0	$K_{1/}$	K_0	$K_{1/}$	K_0	K_0	KH_0	KH
	СМЖ							
0	2,08	1,48	0,46	0,61	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,51	1,16	0,6	0,71	0,72	0,78	1,29	1,15
4	0,53	0,35	2,15	3,13	0,25	0,24	4,64	5,10
6	3,05	1,27	0,29	0,68	1,47	0,86	0,63	1,10
8	0,85	0,25	1,4	7,11	0,41	0,17	3,01	11,58
	ССЖМ							
0	1,5	1,16	0,75	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,21	1,13	6,55	1,21	0,14	0,98	8,68	1,27
6	2,48	1,17	0,42	0,87	1,65	1,01	0,56	0,92
8	0,18	1,09	9,79	1,57	0,12	0,94	12,98	1,65

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Коэффициент поляризации спинномозговой жидкости на частотах до 10 кГц снижается ($K_{0,1/10}$) с 2,08 (смерть в день получения ЧМТ) до 0,85 (смерть при давности ЧМТ 8 суток), то есть с 1 до 0,41 (КН); при ($K_{1/10}$) 1,48 до 0,25, то есть с 1 до 0,17 (значительнее). Коэффициент поляризации спинномозговой жидкости на частотах 100 кГц, наоборот, увеличивается, ($K_{0,1/100}$) с 0,46 до 0,61, то есть с 1 до 3,01 (КН); ($K_{1/100}$) с 1,4 до 7,11, то есть с 1 до 11,58 (КН). Коэффициент поляризации центрифугата сосудистых сплетений желудочков головного мозга снижается ($K_{0,1/10}$) с 1,5 (смерть в день получения ЧМТ) до 0,18 (смерть при давности ЧМТ 8 суток), то есть с 1 до 0,12 (КН); при ($K_{1/10}$) 1,16 до 1,09, то есть с 1 до 0,94 (незначительно). Коэффициент поляризации центрифугата сосудистых сплетений желудочков головного мозга на частотах 100 кГц, наоборот, увеличивается ($K_{0,1/100}$) с 0,75 до 9,79, то есть с 1 до 12,98 (КН); ($K_{1/100}$) с 0,95 до 1,57, то есть с 1 до 1,65 (КН). Следовательно, коэффициент поляризации спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений желудочков головного мозга оказался информативным при разной давности черепно-мозговой травмы. Чтобы убедиться в наличии устойчивой связи между этими величинами [15], применили коэффициент корреляции Пирсона (Pearson Correlation) (табл. 3).

Таблица 3

Сила и направление взаимосвязи давности черепно-мозговой травмы
с коэффициентом поляризации спинномозговой жидкости
и сосудистых сплетений желудочков головного мозга

	Pearson Correlation			
	$K_{0,1/10}$	$K_{1/10}$	$K_{0,1/100}$	$K_{1/100}$
СМЖ – спинномозговой жидкости	-0,01	2*	7*	4*
ССГМ – сосудистых сплетений желудочков головного мозга	-0,10	0,19	-0,09	3*

* – корреляция значима ($p \leq 0,01$).

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Данные таблицы указывают на наличие взаимосвязи давности черепно-мозговой травмы с коэффициентом поляризации спинномозговой жидкости и сосудистых сплетений желудочков головного мозга. Наиболее выражено оно при расчете коэффициента на частотах 100 кГц ($p \leq 0,01$). Несмотря на то, что сила и направление носят умеренный характер и требуют дополнительного анализа, можно утверждать о заинтересованности коэффициента поляризации для анализа давности черепно-мозговой травмы.

Закключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что импедансная спектрометрия является методом, позволяющим объективно визуализировать изменения, происходящие в

спинномозговой жидкости и в сосудистых сплетениях желудочков головного мозга в ответ на черепно-мозговую травму.

Выявляемые изменения имеют достаточно выраженную зависимость их от давности черепно-мозговой травмы, что наиболее явно выявляется на частоте тока исследования 100 кГц, однако и другие частоты демонстрируют аналогичную динамику исследованных коэффициентов (снижение на частотах до 10 кГц и рост на частоте 100кГц).

Авторы считают, что выявленные ими изменения могут быть положены в основу посмертной инструментальной диагностики давности формирования черепно-мозговой травмы объективным количественным способом – импедансной спектрометрией. Для этого необходимо дальнейшее исследование, заключающееся в математическом моделировании установленных зависимостей с оценкой точности полученных моделей на реальных судебно-медицинских случаях с разработкой рекомендаций по практическому применению созданного оригинального диагностического способа.

Список литературы

1. Никулин С.В., Герасименко Т.Н., Шилин С.А., Захарова Г.С., Газизов И.Н., Полозников А.А., Сахаров Д.А. Применение импедансной спектроскопии для контроля целостности *in vitro* моделей барьерных тканей // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2018. Т. 166. № 10. С. 512–517. EDN: YCKECD.
2. Кузнецова И.А., Романов Д.Н., Юшканов А.А. Высокочастотная электропроводность тонкой металлической пленки с учетом эллипсоидальности поверхности Ферми и одинаковой длины свободного пробега электронов // Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, наноэлектронных приборов и экологических технологий: сборник трудов международной конференции (г. Москва, 17–19 апреля 2018 г.) / Гл. ред. В.В. Беляев. Под ред. Е.А. Бедриковой. М.: ООО «Диона», 2018. С. 142–145. EDN: XWSZYD.
3. Лаврукова О.С., Казакова Е.Л. Методика изучения импеданса тканей трупов // Судебно-медицинская экспертиза. 2025. Т. 68. № 3. С. 15–19. DOI: 10.17116/sudmed20256803115. EDN: UEIYJL.
4. Каневский М.В., Миронова И.К., Коннова С.А., Галицкая А.А., Агранович И.М., Хороводов А.П., Борисова Е.Г., Семякина-Глушковская О.В. Применение метода импедансометрии для сравнительного исследования влияния хронического химического стресса на развитие патологий желудочно-кишечного тракта самцов и самок белых беспородных крыс // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2018.

№ 5–4. Т. 20. С. 608–613. URL: <https://journals.eco-vector.com/1990-5378/article/view/88256> (дата обращения: 22.10.2025).

5. Баяндина С.М. Анализ кондуктометрических свойств спинномозговой жидкости в качестве индикатора давности смертельной черепно-мозговой травмы // Актуальные вопросы судебно-медицинской экспертизы. Взгляд молодых ученых: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, ординаторов, аспирантов, молодых ученых (Пермь, 25 апреля 2025 г.). Пермь: Б. и., 2025. С. 79–84. EDN: MHUYIK.

6. Чумутин А.Н. Исследование импеданса ликвора для постмортальной оценки давности черепно-мозговой травмы // Молодая наука – практическому здравоохранению: материалы 92-й итоговой научно-практической конференции студентов, ординаторов, аспирантов, молодых ученых (до 35 лет) ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера (Пермь, 15–16 апреля 2019 г.). Пермь: Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, 2019. С. 43–44. EDN: FQOJYN.

7. Дюкарев В.В., Юдина С.М., Королев А.Г. Особенности цитокинового профиля сыворотки крови и ликвора у больных с черепно-мозговой травмой // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2018. № 3. С. 27–32. DOI: 10.14427/jipai.2018.3.27. EDN: QDYHAA.

8. Долгова О.Б., Грехов И.А. Черепно-мозговая травма у наркопотребителей // Судебно-медицинская экспертиза. 2020. Т. 63. № 2. С. 4–9. DOI: 10.17116/sudmed2020630214. EDN: RXJJBT.

9. Васькова Н.Л. Диагностические и прогностические возможности термоимпедансометрии ликвора при нейрохирургической патологии: дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2017. 164 с. EDN: XAIUDM.

10. Серебрякова М.К., Ильвес А.Г., Лебедев В.М., Новоселова О.М., Прахова Л.Н., Кудрявцев И.В. Субпопуляционный состав цитотоксических Т-лимфоцитов периферической крови и спинномозговой жидкости при рассеянном склерозе // Российский иммунологический журнал. 2023. Т. 26. № 2. С. 149–160. DOI: 10.46235/1028-7221-1533-СТС. EDN: DRXQWR.

11. Кузьмин Е.А., Шамитько З.В., Пьявченко Г.А., Венедиктов А.А., Иванова М.Ю., Кузнецов С.Л. Биомаркеры нейровоспаления в диагностике черепно-мозговой травмы и нейродегенеративных заболеваний: обзор литературы // Сеченовский вестник. 2024. Т. 15. № 1. С. 20–35. DOI: 10.47093/2218-7332.2024.15.1.20-35. EDN: PWFHHW.

12. Крылов В.В., Талыпов А.Э., Гринь А.А., Петриков С.С., Солодов А.А., Кордонский А.Ю. Эпидемиология и патофизиология черепно-мозговой травмы // Хирургия тяжелой черепно-мозговой травмы / под общ. ред. В.В. Крылова, А.Э. Талыпова, О.В. Левченко. М.:

Издательский дом «АБВ-пресс», 2019. С. 9–57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36988194> (дата обращения: 29.10.2025). EDN: YXNUCT.

13. Поздеев А.Р., Баяндина С.М. Кондуктометрические свойства спинномозговой жидкости и центрифугата из сосудистых сплетений желудочков головного мозга // Cifra. Медико-биологические науки. 2024. № 2 (2). DOI: 10.60797/BMED.2024.2.1. EDN: WYYAIO.

14. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия: учебное пособие. 3-е изд., испр. СПб.: Лань, 2021. 672 с. ISBN 978-5-8114-1878-7.

15. Орлов А.И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 160. С. 130–162. DOI: 10.21515/1990-4665-160-011. EDN: VBSKPK.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.