

И.В. БАХМУТОВА, В.Д. ГУСЕВ, Л.А. МИРОШНИЧЕНКО*Институт математики**им. С.Л.Соболева (ИМ СО РАН), г. Новосибирск, Россия**ORCID: 0000-0002-7777-2311**ORCID: 0000-0003-3185-532X**ORCID: 0000-0003-0127-5826*

Количественные оценки допустимой вариативности в задаче нотолинейной реконструкции знаменных песнопений

Работа посвящена исследованию вариативности знаменного роспева, которая оказывает сильное влияние на результаты нотолинейной реконструкции знаменных песнопений. Развиваемый авторами подход к компьютерной поддержке процесса дешифровки древнерусских знаменных песнопений основан на использовании двознаменных певческих рукописей, в которых мелодия записана знаменами и нотами с привязкой к старославянскому тексту. Сложность дешифровки связана с многозначностью соответствия «знамя – нота», весь спектр которой представлен в электронных азбуках знаменного роспева, созданных авторами данной статьи. Отметим, что указанная в них количественная информация об интерпретации знамен уникальна и весьма важна при дешифровке знаменных песнопений. Было замечено, что даже в одноимённых песнопениях одного гласа из разных рукописей один и тот же слог старославянского текста может распеваться по-разному, и наоборот, одинаковый распев может быть записан разными знаменами. Такую вариативность на знаменном и нотолинейном уровнях, выявляемую при сравнении одноимённых песнопений одного гласа из разных двознаменников, можно отнести к разряду допустимого варьирования. Данная работа посвящена количественному и качественному исследованию допустимой вариативности. Подчёркивается, что эти результаты взаимосвязаны с оценками точности алгоритмов дешифровки, разработанных авторами.

Ключевые слова: знаменный распев, двознаменники, нотолинейная реконструкция, редакционное расстояние, выравнивание, допустимое варьирование.

Для цитирования / For citation: Бахмутова И.В., Гусев В.Д., Мирошниченко Л.А. Количественные оценки допустимой вариативности в задаче нотолинейной реконструкции знаменных песнопений // Проблемы музыкальной науки / Music Scholarship. 2022. № 4. С. 98–106. DOI: 10.17674/2782-3601.2022.4.098-106



**IRINA V. BAKHMUTOVA, VLADIMIR D. GUSEV,
LUBOV A. MIROSHNICHENKO**

S.L. Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk, Russia

ORCHID: 0000-0002-7777-2311

ORCHID: 0000-0003-3185-532X

ORCHID: 0000-0003-0127-5826

Permissible Variability Quantitative Estimates in the Problem of the Znamenny Chant Note Line Reconstruction

The article is devoted to investigating the znamenny Chant variability which has a strong influence on the results of the Znamenny Chant Note Line Reconstruction. The approach to the computer support of deciphering the ancient Russian Znamenny Chant process, developed by the authors is based on using dvoznamenniks, where the melody is written both in neumes and in notes and ties in an Old Slavonic text. The complexity of deciphering is due to the polysemy of the “neumes – note” correspondence, all repertoire of which is presented in the electronic alphabets of the znamenny chant, developed by the authors of this article. The quantitative information of the neumes interpretation indicated in these alphabets is unique and extremely important for deciphering of Znamenny Chants. It was discovered that even in the chants with the same names (“odnoimennykh”) from one echos (glas) but from different manuscripts, the same syllable of the text may be sung variously and, on the other hand, the similar chant can be written with the other neumes. Such a variability on the Znamenny and Note Line level, revealed under comparing one znamenny “odnoimennykh” chants from different manuscripts, can be attributed to the category of a “permissible variability”. This work is devoted to a quantitative and qualitative studies of the permissible variability. It is emphasized that the results are interconnected with the accuracy estimates of deciphering algorithms, developed by the authors.

Keywords: znamenny chant, dvoznamenniks, note line reconstruction, edit distance, alignment, permissible variability.

Проблема перевода древнерусских церковных песнопений в современное нотное представление остаётся актуальной в медиевистике и в настоящее время. Попытки расшифровать эту, по словам Д.С. Лихачёва, «молчащую культуру» предпринимались такими выдающимися медиевистами, как М.В. Бражников [5], В.М. Металлов [7], а также современными медиевистами, например, С.Г. Зверевой [6], М.Г. Школьник [11] и др. [1, 8].

Работы, связанные с использованием компьютера для дешифровки знаменных песнопений, авторы начали по инициативе Шиндина Б.А. (01.01.1942–

10.12.2018) – музыковед, заслуженного деятеля искусств РФ, член-корреспондента САН ВШ (2005), проректора по научной работе (1984–2012 гг.) Новосибирской государственной консерватории им. М.И. Глинки [3, 10].

Сложность дешифровки обусловлена многозначностью соответствия «знамя – нота» [2]. Знамя может иметь множество нотных интерпретаций, отличающихся друг от друга интервально-ритмическими характеристиками и/или высотой. И, наоборот, одна и та же нотная интерпретация может быть записана разными знаменами. Весь спектр многозначно-

сти соответствия «знамя – нота» отражён в построенных авторами электронных азбуках знаменного распева [4], доступных на сайте Института математики (<http://math.nsc.ru/AP/znamena/index.html>). Известные авторские азбуки, например, В.М. Металлова, Л.Ф. Калашникова и другие (см., например, «Певческие азбуки Древней Руси» Д.С. Шабалина [9]) не содержат количественной информации о вариантах распева каждого знамени, которую можно и следует использовать в процессе дешифровки.

Тематически близкие двознаменники в одинаковых гласах содержат значительное количество «одноимённых» песнопений с идентичными старославянскими текстами. Однако сопоставление этих песнопений друг с другом обнаруживает в них значительную вариативность как на знаменном, так и нотолинейном уровнях. Такая вариативность носит «допустимый» характер. Целью работы является получение количественных оценок допустимой вариативности на основе анализа одноимённых песнопений одного гласа из разных певческих рукописей. Важно подчеркнуть, что полученные оценки сопоставимы с точностью разработанных авторами алгоритмов дешифровки знаменной нотации [14].

1. Поиск и выравнивание одноимённых песнопений

Среди имеющихся у авторов и уже закодированных ранее рукописей темати-

чески близкими являются двознаменные Октоихи конца XVII – начала XVIII века (РНБ, г. СПб, Соловецкое собрание, шифры 618/644, 619/647 и Q1188), они и послужили исходным материалом для исследования. Каждое песнопение в них представлено знаменным, нотным и старославянским текстами.

Рисунок 1 иллюстрирует характер «допустимых» разночтений на мелодическом уровне между одноимёнными песнопениями из одного гласа разных Октоихов. В первой строке представлен фрагмент песнопения «На стиховне. Слава и ныне. Богородичен» (глас 1, 619/647). Во второй строке – одноимённое песнопение из Октоиха 618/644. Можно видеть, что первым двум нотам соответствуют близкие, но формально разные знамена, и, наоборот, пятое и шестое знамена распеваются по-разному. Такой аспект многозначности может считаться проявлением допустимого варьирования. Далее пойдёт речь о получении количественных оценок варьирования именно такого типа.

На первом этапе проводится сопоставление старославянских текстов из разных певческих рукописей для выявления одноимённых песнопений. Далее для каждой пары одноимённых песнопений вычисляется редакционное расстояние. Для произвольных символьных последовательностей $A = a_1, a_2, \dots, a_m$ и $B = b_1, b_2, \dots, b_n$ оно определяется как минимальное число допустимых («редакционных») операций, не-



Рис. 1. Сравнение фрагментов песнопений «На стиховне. Слава и ныне. Богородичен» из разных Октоихов.



обходимых для перевода А в В [15]. В качестве редакционных операций обычно фигурируют «замена», «вставка» и «устранение» символа. Применительно к знаменным песнопениям эти операции являются осмысленными. Замены часто возникают в группах близких знамен, например, кадансовых, таких как «статья простая» (♩), крыж (†), «статья с крыжем» (♩†) и т. п. Сложнораспеваемые знамена могут быть заменены конкатенацией более простых, так появляются вставки и делеции.

Для вычисления редакционных расстояний и их аналогов в разных прикладных областях (компьютерная лингвистика, молекулярная биология, теория связи и т. д.) разработано множество алгоритмов, основанных на использовании техники динамического программирования (см., например, [12, 13]). Под символом в нашем случае понимается составная пара: «знамя и его интерпретация (цепочка нот)». Определение и алгоритм вычисления «редакционного» расстояния модифицированы авторами так, чтобы одновременно учитывались оба представления (и знаменное, и нотное).

На следующем шаге осуществляется попарное выравнивание последовательностей, соответствующих одноимённым песнопениям. Смысл выравнивания на содержательном уровне состоит в размещении последовательностей одна под

другой таким образом, чтобы совпадающие элементы, по возможности, занимали одинаковые позиции и минимизировался суммарный отрицательный эффект, создаваемый наличием различий (замен, вставок и делеций).

На рисунке 2 приведён пример выравнивания двух фрагментов песнопения «Антифон второй» первого гласа из Октоихов 619/647 и 618/644. В примере и далее используется кодировка высоты нот ступенями обиходного звукоряда GANcdefgabCD [5], где символ «с» соответствует ноте «до», а длительности нот кодируются символами 1, 2, 2., 4, 4., 8 (1 – o, 2 – o, и т.д.).

Здесь наблюдаем: совпадение на знаменном и нотном уровне в шестом, седьмом и восьмом компонентах (столбцах); замену кадансового знамени (девятый столбец); различия в четвёртом и пятом компонентах на обоих уровнях (и знаменном, и нотном); замену роспева двух знамен (♩ и ♩) роспевом составного знамени «запятой с переводкой» (♩), приводящую к «делеции» (второй и третий столбцы); а также замену нотной интерпретации знамени ♩ в первом столбце.

В каждом компоненте выравнивания, представленного двумя знаменами и их нотными интерпретациями, возможны следующие ситуации: совпадают и знамена, и нотные интерпретации (обозначим

♩	♩	♩	♩	♩	♩	♩	♩	†
g4e4f4e4	d2	e4f4	g2.f4	e4f4	g2	e4f4d4	e1	d1
ти	бо		же	да	по	ю		тя.
♩	♩	—	♩	♩	♩	♩	♩	♩
e4d4e4d4	d2e4f4		g1	g4f4	g2	e4f4d4	e1	d1
ти	бо		же	да	по	ю		тя.

Рис. 2. Фрагмент выравнивания песнопения «Антифон второй» (Сол. 619/647 – первая строка; вторая строка – его аналог из Сол. 618/644).

этот вариант z+n+); совпадают знамена, различаются их интерпретации (z+n-); совпадают нотные интерпретации, отличаются знамена (z-n+); не совпадают ни знамена, ни их интерпретации (z-n-, сюда же включаются позиции выравнивания, соответствующие вставкам и делециям). Так как в выравнивании используются реальные рукописи, то рассогласования (последние три случая) относятся к категории допустимого варьирования.

2. Описание эксперимента и обсуждение его результатов.

Результаты продемонстрируем на примере двознаменных Октоихов Сол. 618/644 и Сол. 619/647. Комбинация любого из них с Октоихом Q1188 даёт сопоставимые результаты. В эксперименте используется по 21 одноимённому песнопению для каждого из 8 гласов.

В выравниваниях роспевов одноимённых песнопений конкретного гласа фиксировалось число позиций, относящихся к разным ситуациям. Суммарные результаты по одноимённым песнопениям каждого гласа представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что (см. строку [z+n+]) большая часть позиций выравниваний одноимённых песнопений совпадает как на знаменном, так и на нотном уровнях. Их доля от общего числа знамен в песнопениях каждого гласа в среднем составляет порядка 70% (см. последнюю строку в таблице 1).

Из возможных типов несоответствий, представленных в трёх первых строках таблицы 1, во всех гласах (за исключением восьмого) незначительно доминирует вариант (z-n+) – совпадение нотных интерпретаций у разных знамен (см. вторую строку таблицы 1). Отметим, что наряду с уже упомянутой взаимозаменяемостью кадансовых (статья ♪, крыж †, статья с крыжем ♪†) знамен при записи половинных нот (особенно e2) часто вместо крюка светлого (𐌶) используется крюк мрачный (𐌷) или стопица (𐌸).

В таблице 2 приведены количественные данные о наиболее характерных случаях разночтений в интерпретации отдельных знамен (z+n-) из выравненных одноимённых песнопений гласа 1 в Октоихах

Таблица 1. Типы и количественные оценки вариативности одноимённых песнопений

	Глас 1	Глас 2	Глас 3	Глас 4	Глас 5	Глас 6	Глас 7	Глас 8
z+ n-	113	93	81	104	132	156	131	147
z- n+	179	148	169	230	204	165	163	135
z- n-	130	147	126	163	153	155	149	198
z+ n+	1136	887	930	1144	1167	931	990	923
сумма	1558	1275	1306	1641	1656	1407	1433	1403
++%	72,9	69,6	71,2	69,7	70,5	66,2	69,1	65,8

Табл. 2. Примеры разночтений в интерпретации отдельных знамен из одноимённых песнопений гласа 1

№	Название знамени	Знамя	z+ n-	z+ n+	Самые частые замены		
					619/647	618/644	Кол-во
1	Стопица с очком	𐌸	22	128	d4H4	d4c4	8
2	Голубчик борзый	𐌶	14	111	c4e4	d4e4	10
3	Стопица	𐌸	10	142	d2	e2	7
4	Палка	𐌷	9	50	f2	e4f4	7
5	Скамеица мрачная	𐌷	7	20	f4g4	e4g4	5
6	Статья простая с подвёрткой	𐌶	7	41	d8c8H4c4H4	d4H4e4H4	2
					a4g2.	a4g2	2



618/644 и 619/647. В пятом столбце ($z^+ n^+$) для сравнения указано число «согласованных» позиций выравнивания, в которых этому же знамени соответствуют одинаковые нотные интерпретации.

Здесь большинство знамен имеют по несколько вариантов замены роспева, в таблице приводятся только самые частые с указанием числа их встречаемости.

Три первых знамени (L_+ , \grave{a} , L) в таблице 2 относятся к категории наиболее высокочастотных единиц знаменного роспева. Им соответствуют и наиболее высокие показатели «числа разночтений». Наблюдается корреляция между частотой встречаемости знамени и стабильностью его роспева: чем выше частота, тем менее стабилен роспев. Однако есть и исключения: высокой стабильностью обладает «статья простая» (♩) – доминирующий кадансовый элемент в структурах попевочного типа. В его роспеве в разных Октоихах отмечено лишь одно разночтение при 68 совпадениях. Достаточно стабильный роспев в гласе 1 имеют многие среднечастотные знамена, такие как «статья светлая» (♩♩), «статья закрытая малая» (♩), подчашие мрачное (♩), запятая с крыжем (♩^\dagger) и др.

По результатам обработки остальных гласов для каждого из них также выделены лидирующие по числу разночтений (нестабильные по роспеву) знамена. Анализ этих данных приводит к следующим выводам:

– наиболее часто разночтения возникают при трактовке стопицы с очком (L_+). В большинстве случаев вариативность в роспеве знамени связана с изменением интервальной структуры (например, замена нисходящей терции на нисходящую секунду);

– на втором месте по числу разночтений фигурирует «скамеица мрачная» (♩) или она же с оттяжкой (♩). Здесь

вариативность чаще проявляется в замене восходящей секунды на восходящую терцию, но встречается и замена роспева двумя звуками на один звук. Разночтения неоднократно возникают также и при трактовке «змийцы со статьёй» (♩) (гласы 3, 4, 7) и чашки (♩);

– большинство допустимых разночтений, независимо от того, связаны ли они с изменением интервальной или ритмической структуры, носят «минимальный» характер. Это изменение либо интервала (например, $f4g4 - e4g4$; $g2.e4 - g2.d4$), либо длительности (например, $f4 - f2$; $d2.c4 - d1d2c2$);

– среди «нестабильных» знамен мало «одногогласостепенных», то есть состоящих из одного звука;

– просматривается неслучайная связь между гласами 2 и 6, фиксируемая одинаковой заменой роспева ($d2c4 - d2.c4$) «скамейцы с оттяжкой» (♩). Для других пар параллельных гласов (1 и 5, 3 и 7, 4 и 8) столь явных связей не наблюдается.

Итак, тематически близкие церковные певческие книги, в частности, Октоихи конца XVII – начала XVIII века, содержат значительное количество «одноимённых» песнопений. Они демонстрируют значительную вариативность на знаменном и нотолинейном уровнях, которая, очевидно, носит «допустимый» характер. Целью работы являлось получение количественных оценок «допустимой» вариативности. В закодированных вручную Октоихах выбраны одноимённые песнопения одного гласа (каждого из восьми); разработана и реализована схема попарного сравнения («выравнивания») одноимённых песнопений с использованием техники динамического программирования; выделены компоненты выравнивания с разночтениями на знаменном и/или нотолинейном уровне; получены количественные оценки вариативности.

Показано, что при выравнивании одноимённых песнопений наблюдается совпадение на обоих (знаменном и нотном) уровнях примерно у 70% позиций. Приблизительно такую же точность демонстрируют алгоритмы дешифровки беспометной нотации, разработанные авторами [14]. Соответственно, число различий между реконструированными и реальными песнопениями сопоставимо

с числом различий между одноимёнными песнопениями из исходных рукописей. Это позволяет высказать предположение, что большинство отклонений реконструированного текста от реального можно отнести к разряду допустимого варьирования.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований РАН, проект № FWNF-2022-0015.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Г.В. К изучению процессов трансляции византийской церковной певческой традиции в искусстве России и Кореи // Проблемы музыкальной науки. 2018. № 1. С. 96–103.
2. Бахмутова И.В., Гусев В.Д., Титкова Т.Н. Компьютерный анализ древнерусских двознаменников: многозначность соответствия «знамя–нота» и «нота–знамя» // Искусственный интеллект и экспертные системы (Вычислительные системы). Вып. 157. 1996. С. 68–100.
3. Бахмутова И.В., Гусев В.Д., Титкова Т.Н., Шиндин Б.А. Дешифровочный подход к анализу древнерусских песнопений // Анализ последовательностей и таблиц данных (Вычислительные системы). Вып. 150. 1994. С. 107–130.
4. Бахмутова И.В., Гусев В.Д., Титкова Т.Н., Шиндин Б.А. Электронные азбуки для нотолинейной реконструкции знаменного распева // Проблемы музыкальной науки. 2018. № 2. С. 14–21.
5. Бражников М.В. Пути развития и задачи расшифровки знаменного распева XII–XVIII веков. М.: Музгиз, 1949. 104 с.
6. Зверева С.Г. К проблеме расшифровки знаменной нотации конца XVII–XVIII вв. // Проблемы дешифровки древнерусских нотаций. Л., 1987. С. 73–89.
7. Металлов В.М. Азбука крюкового пения. М.: Синод. тип., 1899. 130 с.
8. Плавская Е.Л. Роль печатных азбук знаменного пения в системе подготовки старообрядческих музыкально-педагогических кадров начала XX века // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2017. № 9 (186). С. 46–51.
9. Шабалин Д.С. Певческие азбуки Древней Руси. Кемерово: Кузбассиздат, 1991. 211 с.
10. Шиндин Б.А. Жанровая типология древнерусского певческого искусства. Новосибирск: Новосибирская гос. консерватория им. М.И. Глинки, 2004. 398 с.
11. Школьник М.Г. Проблемы реконструкции знаменного распева XII–XVII веков (на материале византийского и древнерусского Ирмология): дис. ... канд. искусствоведения. М., 1996. 301 с.
12. Beretta S. Algorithms for Strings and Sequences: Pairwise Alignment // Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology. Elsevier, 2019, pp. 22–29.
13. Cormen T.H., Leiserson Ch.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms. 4th ed. Chapter 15: Dinamic programming. MIT Press and McGraw-Hill, 2022, pp. 359–413.
14. Gusev V.D., Bakhmutova I.V., Miroshnichenko L.A., Titkova T.N. Possible Approaches to Deciphering Russian Ancient Znamenny Chant // Journal of New Music Research. 2020. Volume 49. Issue 3, pp. 298–306.
15. Wagner R.A., Fisher M.J. The String-to-String Correction Problem // Journal of the ACM. Volume 21. Issue 1. Jan. 1974, pp. 168–173.

Об авторах:

Бахмутова Ирина Владимировна, научный сотрудник, Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, Новосибирск, Россия), **ORCID: 0000-0002-7777-2311**, bakh@math.nsc.ru

Гусев Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, Новосибирск, Россия), **ORCID: 0000-0002-0305-267X**, gusev@math.nsc.ru

Мирошниченко Любовь Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, Новосибирск, Россия), **ORCID: 0000-0003-0127-5826**, luba@math.nsc.ru

REFERENCES

1. Alekseeva G.V. K izucheniyu protsessov translyatsii vizantiyskoy tserkovnoy pevcheskoy traditsii v iskusstve Rossii i Korei [To Study the Processes of Translation of Byzantine Church Singing Tradition in the Art of Russia and Korea]. *Problemy muzykal'noy nauki* [Music Scholarship]. 2018. No. 1, pp. 96–103.
2. Bakhmutova I.V., Gusev V.D., Titkova T.N. Komp'yuternyy analiz drevnerusskikh dvoznamennikov: mnogoznachnost' sootvetstviya «znamya – nota» i «nota – znamya» [Computer Analysis of Old Russian Dvoznamenniki: Multivalency of Correspondence “Znamya – Note” and “Note – Znamya”]. *Iskusstvennyy intellekt i ekspertnye sistemy (Vychislitel'nye sistemy). Vypusk 157* [Artificial Intelligence and Expert Systems (High-Tech Systems). Issue 157]. 1996, pp. 68–100.
3. Bakhmutova I.V., Gusev V.D., Titkova T.N., Shindin B.A. Deshifrovochnyy podkhod k analizu drevnerusskikh pesnopeniy [Decoding Approach to the Analysis of Old Russian Canticles]. *Analiz posledovatel'nostey i tablits dannykh (Vychislitel'nye sistemy). Vypusk 150* [Artificial Intelligence and Expert Systems (High-tech Systems). Issue 150]. 1994, pp. 107–130.
4. Bakhmutova I.V., Gusev V.D., Titkova T.N., Shindin B.A. Elektronnyye azbuki dlya notolineynoy rekonstruktsii znamennoy raspeva [Electronic Alphabet for Notolinear Reconstruction of Znamenny Chant]. *Problemy muzykal'noy nauki* [Music Scholarship]. 2018. No. 2, pp. 14–21.
5. Brazhnikov M.V. Puti razvitiya i zadachi rasshifrovki znamennoy raspeva XII–XVIII vekov [Ways of Development and Tasks of Transcription of Znamenny Chant of XII–XVIII centuries]. Moscow: Gosudarstvennoe muzykal'noe izdatel'stvo, 1949. 104 p.
6. Zvereva S.G. K probleme rasshifrovki znamennoy notatsii kontsa XVII–XVIII vekov [To the Problem of Decoding Znamenny Notation of the end of XVII–XVIII centuries]. *Problemy deshifrovki drevnerusskikh notatsiy* [Problems of Decoding Ancient Russian Notations]. Leningrad, 1987, pp. 73–89.
7. Metallov V.M. *Azbuka kryukovogo peniya* [The ABC of Hook Chant]. Moscow: Sinodal'naya tipografiya, 1899. 130 p.
8. Plavskaya E.L. Rol' pechatnykh azbuk znamennoy peniya v sisteme podgotovki starobryadcheskikh muzykal'no-pedagogicheskikh kadrov nachala XX veka [The Role of Printed Alphabets of Znamenny Chant in the System of Training of Old Believers Musical and Pedagogical Staff of the early 20th century]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State Pedagogical University]. 2017. No. 9 (186), pp. 46–51.

9. Shabalin D.S. *Pevcheskie azbuki Drevney Rusi* [Singing ABCs of Ancient Russia]. Kemerovo: Kuzbassizdat, 1991. 211 p.
10. Shindin B.A. *Zhanrovaya tipologiya drevnerusskogo pevcheskogo iskusstva* [Genre Typology of the Old Russian Singing Art]. Novosibirsk: Novosibirskaya gosudarstvennaya konservatoriya imeni M.I. Glinki, 2004. 398 p.
11. Shkol'nik M.G. *Problemy rekonstruktsii znamennogo rospeva XII–XVII vekov (na materiale vizantiyskogo i drevnerusskogo Irmologiya): dissertatsiya ... kandidata iskusstvovedeniya* [Problems of Reconstruction of the Znamenny Chant of XII–XVII centuries (on the material of the Byzantine and Old Russian irmology): Dissertation for the Degree of Candidate of Arts]. Moscow, 1996. 301 p.
12. Beretta S. Algorithms for Strings and Sequences: Pairwise Alignment. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. Elsevier, 2019, pp. 22–29.
13. Cormen T.H., Leiserson Ch.E., Rivest R.L., Stein C. *Introduction to Algorithms. 4th ed. Chapter 15: Dinamic programming*. MIT Press and McGraw-Hill, 2022, pp. 359–413.
14. Gusev V.D., Bakmutova I.V., Miroshnichenko L.A., Titkova T.N. Possible Approaches to Deciphering Russian Ancient Znamenny Chant. *Journal of New Music Research*. 2020. Volume 49. Issue 3, pp. 298–306.
15. Wagner R.A., Fisher M.J. The String-to-String Correction Problem. *Journal of the ACM. Volume 21, Issue 1. Jan.* 1974, pp. 168–173.

About the authors:

Irina V. Bakmutova, Senior Researcher, S.L. Sobolev Institute of Mathematics of the Russian Academy of Sciences Siberian Branch (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0002-7777-2311**, bakh@math.nsc.ru

Vladimir D. Gusev, PhD (Science), Senior Researcher, S.L. Sobolev Institute of Mathematics of the Russian Academy of Sciences Siberian Branch (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0002-0305-267X**, gusev@math.nsc.ru

Liubov A. Miroshnichenko, PhD (Science), Senior Researcher, S.L. Sobolev Institute of Mathematics of the Russian Academy of Sciences Siberian Branch (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0003-0127-5826**, luba@math.nsc.ru

