



И. В. БАХМУТОВА, В. Д. ГУСЕВ

Л. А. МИРОШНИЧЕНКО, Т. Н. ТИТКОВА

Институт математики им. С. Л. Соболева, г. Новосибирск, Россия

ORCID: 0000-0002-7777-2311, bakh@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0002-0305-267X, gusev@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0003-0127-5826, luba@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0003-1525-4110, titkova@math.nsc.ru

О звуковысотной организации знаменного распева в аспекте дешифровки*

Проблема перевода древнерусских знаменных песнопений в современную нотолинейную форму носит дешифровочный характер и остаётся актуальной для беспометной нотации. Развиваемый авторами подход к компьютерной поддержке процесса дешифровки основан на использовании двознаменных певческих книг конца XVII – начала XVIII столетия. Сложность дешифровки обусловлена тем, что знамена могут иметь множество различных нотных интерпретаций. Созданные нами алгоритмы позволяют правильно восстанавливать ритмическую структуру распева для 95–98% знамен в разных гласах. Однако точность реконструкции звуковысотной составляющей гораздо ниже – порядка 60–80%. Этим обусловлена необходимость более детального изучения звуковысотной организации знаменного распева. В работе проведён количественный анализ звуковысотных переходов от одного знамени к следующему для всевозможных комбинаций пар знамен (биграмм), представленных в текстах двознаменников с предварительно устранёнными степенными и указательными пометами (три Октоиха и Ирмологий). Полученная статистика допустимых интервалов может быть использована в процессе дешифровки беспометной нотации для коррекции не согласующихся с ней вариантов. Приведены примеры знаменных биграмм, демонстрирующих неожиданные особенности знаменного распева, практически не освещённые в литературе. Попутно затронуты вопросы, касающиеся определения понятия «строки», выявления биграммных индикаторов попевочных структур, особенностей распева tandemно повторяющихся знамен и др.

Ключевые слова: знаменный распев, двознаменники, нотолинейная реконструкция, попевки, биграммы.

Для цитирования / For citation: Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Мирошниченко Л. А., Титкова Т. Н. О звуковысотной организации знаменного распева в аспекте дешифровки // Проблемы музыкальной науки. 2019. № 1. С. 7–14. DOI: 10.17674/1997-0854.2019.1.007-014.

IRINA V. BAKHMUTOVA, VLADIMIR D. GUSEV

LUBOV A. MIROSHNICHENKO, TATIANA N. TITKOVA

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk, Russia

ORCID: 0000-0002-7777-2300, bakh@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0002-0305-267X, gusev@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0003-0127-5826, luba@math.nsc.ru

ORCID: 0000-0003-1525-4110, titkova@math.nsc.ru

About the Pitch Organization of the Znamenny Chant in the Aspect of Deciphering

The issue of transcription of Early Russian Znamenny Chants into contemporary notation has a deciphering character and remains relevant for notation not provided with aiding deciphering marks. The approach towards computer-based aid of the process of deciphering is based by use of Dvoznamenny chant books of the late 17th and

* Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № 1.5.1., проект № 0314-2019-0015, а также при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект №16-07-00812.

early 18th centuries. The complexity of the deciphering is stipulated by the fact that the Znamenny signs may contain a multitude interpretations of musical notation. The algorithms created by us make it possible to recreate correctly the rhythmic structure of the chants for 95–98% of the signs (znameny) in various voices (glasy). However, the precision of the reconstruction of the pitch constituent is much less – it is approximately 60–80%. This stipulates the necessity for more detailed research of the pitch organization of the Znamenny chant. The work carries out a quantitative analysis of the pitch-related transitions from one znamya (sign) to the next for all sorts of combinations of pairs of znamya (signs) or bigrams presented in the musical texts of dvoznamenniks with preliminarily eliminated marks (pomety) of scale-steps and indications (three Oktoechos and Heirmologies). The obtained statistics of the acceptable intervals may be used during the process of deciphering of the unmarked notation for the correction of the variants inconsistent with it. Examples are brought of znamenny (sign) bigrams which demonstrate unexpected peculiarities of the Znamenny chant practically unilluminated in musicology. Concurrently questions are touched upon illuminating the definition of the concept of a “line,” the demonstration of bigram indicators of the structures of popevkas, peculiarities of the chants of znameny (signs) repeating in a tandem manner, etc.

The work has been carried out with the support of the program of fundamental scholarly studies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences No. I.5.1., project No. 0314-2019-0015, as well as through the partial financial assistance of the Russian Foundation of Fundamental Studies, project No. 16-07-00812.

Keywords: Znamenny chant, Dvoznamenniks, note-staff reconstruction, popevkas, bigrams.

Проблема нотолинейной реконструкции (дешифровки) древнерусских церковных песнопений XII–XVII веков, представленных в знаменной форме записи, не теряет своей актуальности и в настоящее время [1; 3; 5–7]. Дешифруемыми (или «читаемыми» [5]) считаются песнопения, в которых знамена снабжены специальными знаками («пометами»), облегчающими их интерпретацию. Система помет появилась во второй половине XVII века. Беспометные песнопения более раннего периода в большинстве своём остались «нечитаемыми» (основная сложность – многозначность соответствия «беспометное знамя – нота»). Известные примеры дешифровки выполнены, в основном, вручную для отдельных песнопений. В настоящее время начали появляться работы, связанные с компьютерной поддержкой процесса дешифровки знаменных песнопений [2; 7].

Разработанный нами подход [2] базируется на использовании двознаменников – певческих книг конца XVII – начала XVIII века, записанных в виде трёх синхронизированных между собой текстов: знаменного, нотолинейного и старославянского. Акцент делается на выявлении в двознаменниках (с предварительно устранёнными пометами) повторяющихся цепочек знамен, интерпретируемых однозначно (внутригласовые инварианты – ВИ) или «почти однозначно» (квазиинварианты – КВИ). Построенные словари ВИ и КВИ имеют формат «беспометное знамя – нота», что позволяет использовать их для дешифровки беспометной нотации.

Реализованный алгоритм [2] даёт возможность правильно восстановить ритмическую структуру распева для 95–98% всех знамен (в зависимости от гласа). Однако точность реконструкции звуковысотной составляющей существенно ниже – порядка 60–80%. Анализ ошибок дешифровки показал, что большая их часть локализована на стыках распевов соседних знамен. А именно: звуковысотные интервалы между реконструированными распевами соседних знамен не всегда совпадают с таковыми в реальном (известном) распеве. Это и послужило побудительным мотивом к более детальному изучению звуковысотной организации знаменного распева.

Целью работы является количественный анализ звуковысотных переходов (интервалов) на стыках распевов соседних знамен для всевозможных их комбинаций, представленных в текстах разных двознаменников. Сравнение полученной статистики с аналогичной, построенной по итогам нотолинейной реконструкции тех же двознаменников с устранёнными пометами, позволит выявить наиболее характерные ошибки дешифровки и найти способ их устранения. Значительный интерес представляет и возможность использования полученной статистики для установления высотных отношений знамен между собой (см.: [3, глава 3]), обнаружения биграмм, являющихся индикаторами певческих структур, и анализа гласовой специфики в исследуемом материале.

1. Получение статистики интервалов на стыках распевов знамен

Исходным материалом послужили три двознаменных Октоиха конца XVII – начала XVIII века (Российская национальная библиотека, Санкт-Петербург, Соловецкое собрание, шифры 618/644, 619/647 и QI188). В среднем на каждый глас приходится порядка 5500 знамен. Устранение помет приводит к агрегированию алфавита знамен. Например, зная ↯ (сложитие) и оно же с указательными пометами «борзо» ($\text{↯}^{\text{б}}$), «купная» ($\text{↯}^{\text{к}}$), «тихая» ($\text{↯}^{\text{т}}$) будут объединены в одну группу «сложитий» (↯), содержащую всё многообразие их интерпретаций, отличающихся интервально-ритмическими характеристиками и высотой. Цель описанного агрегирования – представление двознаменников в «беспометной» нотации. Как следствие, статистика звуковысотных интервалов между распевами соседних знамен будет получена для беспометных биграмм.

В произвольном песнопении $T = a_1 a_2 \dots a_N$, где a_i ($1 \leq i \leq N$) – элементы алфавита знамен, а N – число знамен в песнопении, можно выделить $(N-1)$ биграмм: $(a_1 a_2), (a_2 a_3), \dots, (a_{N-1} a_N)$, среди которых будут и повторяющиеся. Интервал на стыке пары $(a_i a_{i+1})$ определяется как число ступеней обиходного звукоряда [3] между последним звуком распева знамени a_i и первым звуком распева a_{i+1} . Если обозначить высоты этих звуков $h_e(a_i)$ и $h_b(a_{i+1})$, соответственно, то формально интервал $\Delta_{i, i+1} = h_b(a_{i+1}) - h_e(a_i)$. Восходящему движению мелодии соответствуют положительные интервалы, нисходящему – отрицательные. При равенстве высот сравниваемых звуков $\Delta_{i, i+1} = 0$. Мы используем далее следующую кодировку интервалов: 0 – прима, 1 – секунда, 2 – терция, 3 – кварта, 4 – квинта, 5 – секста, 6 – септима.

Наличие в песнопениях повторяющихся пар знамен (биграмм) не означает, что звуковысотные переходы на стыках знамен в каждой паре будут иметь одинаковую величину. Каждое знамя в составе биграммы может иметь множество интерпретаций и лишь контекст определяет, какая комбинация интерпретаций реализуется при разных вхождении в песнопение одной и той же биграммы.

По итогам обработки одного песнопения мы фиксируем многообразие всех встретившихся

в нём биграмм, частоту встречаемости каждой биграммы и интервалы для разных вхождений одной и той же биграммы в текст. Каждый из интервалов имеет свою частоту встречаемости. По указанной схеме обрабатываются все песнопения конкретного гласа, и по каждому гласу формируется обобщённая статистика интервалов.

2. Обсуждение и интерпретация результатов эксперимента

2.1. Статистика интервалов на стыках распевов соседних знамен

В таблице 1 приведены данные о многообразии интервалов и частоте их появления в каждом из 8 гласов трёх двознаменных Октоихов. Здесь $F(\Delta)$ – частота появления в гласе интервала Δ , то есть общее количество биграмм uv (u и v – произвольные знамена), таких, что на стыках распевов u и v реализуется интервал Δ . Учитываются лишь биграммы, встретившиеся в песнопениях гласа не менее трёх раз.

Таблица 1. Статистика интервалов в разных гласах трёх Октоихов

Интервал Δ	F(Δ) в гласах 1–8							
	1	2	3	4	5	6	7	8
–4	4	1	–	–	7	3	5	8
–3	19	36	55	51	47	70	11	194
–2	329	184	207	165	213	259	390	237
–1	2007	2093	1687	2461	2675	2116	1782	2339
0	949	856	800	1019	824	888	948	715
+1	1805	1586	1614	1812	1997	2065	2132	2208
+2	219	189	168	222	146	137	85	242
+3	37	76	42	83	102	35	46	36
+4	40	11	4	4	40	7	7	9
+5	12	1	–	–	24	4	–	–
+6	2	–	–	2	1	–	–	–

Анализ таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы.

1) Величины интервалов на стыках распевов соседних знамен укладываются в диапазон от (–4) до (+6). Исключения составляют единственный скачок на 6 ступеней вниз в 5-м гласе и три скачка на 8 ступеней вверх в гласе 4 (они не включены в таблицу). Поскольку в распевах самих знамен нет интервалов с $|\Delta| \geq 4$, а интервалы с $|\Delta| = 3$ очень редки, можно заключить, что основная доля больших интервалов ($|\Delta| \geq 3$)

реализуется на стыках распевов соседних знамен. Чаще всего эти стыки оказываются границами попевочных структур. Обычно первым знаменем в таких биграммах являются «статья простая» ㄣ , а также ㄣ , ㄣ , ㄣ , ㄣ , ㄣ , сопровождаемые знаменами, относящимися к категории начинающих попевку (ㄣ , ㄣ , ㄣ , ㄣ , ㄣ и др.).

2) Для звуковысотной линии в знаменных песнопениях наиболее характерно поступенное движение вверх или вниз (нисходящие секунды слегка преобладают). Абсолютное доминирование частот $F(-1)$ и $F(+1)$ во всех гласах это подтверждает. Значимым представляется и показатель $F(0)$. Существенный вклад в него вносят речитативные участки напева (серии «стоици»).

3) Среди интервалов больше кварты доминируют восходящие. Например, в гласе 1 зафиксировано 40 переходов на квинту вверх и лишь 4 на квинту вниз. В гласах 2, 3 и 4 нисходящие интервалы больше кварты практически отсутствуют.

4) Гласовая специфика ярче всего видна на примере гласов 1 и 5. Это рекордсмены по числу больших интервалов ($|\Delta| \geq 4$). Их 58 в гласе 1 и 72 в гласе 5, что значительно превышает аналогичные показатели для других гласов.

2.2. Звуковысотные переходы в отдельных биграммах

Эти данные представляют наибольший интерес как для понимания организации знаменного распева, так и для дешифровки. В таблице 2 приведены наиболее интересные биграммы (α), указаны частоты их встречаемости ($F(\alpha)$), варианты интервалов на стыках распевов составляющих их знамен ($\Delta_1, \Delta_2, \dots$), а также частоты их встречаемости ($F(\Delta_1), F(\Delta_2), \dots$). Например, биграмма $\alpha = \text{ㄣ} \text{ㄣ}$ встретила в гласе 1 трёх Октоихов 16 раз (строка 1). На стыке распевов «крюка светлого» (ㄣ) и «статьи мрачной» (ㄣ) зафиксированы интервалы: $\Delta_1 = -1$ ($F(-1) = 12$) и $\Delta_2 = -2$ ($F(-2) = 4$). Соблюдается баланс частот: $16 = 12 + 4$.

Таблица 2. Примеры интервалов на стыках распевов соседних знамен

№	Глас	Биграмма α	$F(\alpha)$	Частоты интервалов ($F(\Delta)$)
1	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	16	$\Delta_1 = -1$ ($F = 12$), $\Delta_2 = -2$ ($F = 4$)
2	8	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	4	$\Delta = -1$ ($F = 4$)
3	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	13	$\Delta_1 = +3$ ($F = 6$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 4$), $\Delta_3 = +2$ ($F = 2$), $\Delta_4 = 0$ ($F = 1$)
4	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	47	$\Delta = +1$ ($F = 47$)
5	3	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	11	$\Delta = +1$ ($F = 11$)
6	2	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	10	$\Delta = +1$ ($F = 10$)
7	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	76	$\Delta_1 = 0$ ($F = 51$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 24$), $\Delta_3 = -1$ ($F = 1$)
8	2	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	11	$\Delta = -1$ ($F = 11$)
9	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	198	$\Delta_1 = 0$ ($F = 188$), $\Delta_2 = -1$ ($F = 10$)
10	7	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	330	$\Delta_1 = 0$ ($F = 303$), $\Delta_2 = -1$ ($F = 27$)
11	5	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	5	$\Delta = -1$ ($F = 5$)
12	2	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	50	$\Delta_1 = 0$ ($F = 35$), $\Delta_2 = -1$ ($F = 15$)
13	5	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	5	$\Delta_1 = -1$ ($F = 3$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 2$)
14	3	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	10	$\Delta_1 = 0$ ($F = 9$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 1$)
15	5	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	9	$\Delta = +1$ ($F = 9$)
16	6	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	11	$\Delta_1 = -1$ ($F = 10$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 1$)
17	2	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	21	$\Delta = -1$ ($F = 21$)
18	1	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	57	$\Delta_1 = -1$ ($F = 45$), $\Delta_2 = -2$ ($F = 12$)
19	8	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	4	$\Delta_1 = -1$ ($F = 3$), $\Delta_2 = +1$ ($F = 1$)
20	8	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	9	$\Delta_1 = 0$ ($F = 5$), $\Delta_2 = -1$ ($F = 3$), $\Delta_3 = +1$ ($F = 1$)
21	4	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	135	$\Delta = -1$ ($F = 135$)
22	7	$\text{ㄣ} \text{ㄣ}$	20	$\Delta = -1$ ($F = 20$)

Биграммы в таблице 2 сгруппированы таким образом, чтобы каждая группа демонстрировала специфическую особенность знаменного распева.

Группа 1 (строки 1÷3). Сравнение строк 1 и 2, представляющих бигramму $\alpha = \text{L} \text{Z}$ в гласах 1 и 8, показывает сильное влияние гласовой специфики: меняются не только частоты встречаемости биграммы в разных гласах (16 и 4), но и интервалы (в частности, $\Delta = -2$ не представлен в гласе 8). Важен и порядок знамен в биграмме (в строке 3 он обратный по отношению к первым двум). Характер интервалов в этой строке радикально отличается от такового в строке 1, хотя обе биграммы – из одного гласа. Объясняется это тем, что биграмма $\text{L} \text{Z}$ является кадансовой в попевочных структурах, что ограничивает разнообразие интервалов. Биграмма же $\text{Z} \text{L}$ стоит на стыке двух попевок: знамя Z завершает первую из них, а L начинает вторую. Именно на «стыковочных» биграммах наблюдается значительное разнообразие интервалов.

Группа 2 (строки 4÷8) представляет знамена N , N и L , каждое из которых интерпретируется двумя звуками в восходящем движении, причём второй звук «в норме» должен быть на ступень ниже первого звука в распеве следующего за ними знамени. Однако ожидаемая норма соблюдается не всегда (см. строки 7÷8 таблицы, где доминируют отличные от +1 варианты интервалов). Заметим, что такие аномалии характерны лишь для отдельных гласов.

Группа 3 (строки 9÷13) содержит биграммы, составленные из повторяющихся знамен, интерпретируемых одним звуком. Суммарная доля таких тандемов в гласе может достигать нескольких процентов. Знамена, распеваемые несколькими звуками, образуют тандемы лишь в единичных случаях, поэтому здесь не рассматриваются. Следует заметить, что далеко не всегда тандему на знаменном уровне соответствует тандем на нотолинейном. Лишь в сериях стопиц ($\text{L} \text{L} \dots$) преобладает сильная тенденция к сохранению певческого значения знамени при его повторении. Свыше 90% стопиц в сериях интерпретируются одинаково, а редкие нарушения этой тенденции возникают из-за снижения на секунду распева последней стопицы в некоторых сериях.

Гораздо реже сохраняются певческие значения при тандемном повторении других зна-

мен, в частности, «крюков» и «статей». Здесь второй элемент тандема нередко распевается на секунду ниже первого ($\Delta = -1$). Так, из 50 тандемов вида $\text{L} \text{L}$ в песнопениях второго гласа лишь в 35 случаях сохраняется певческое значение ($\Delta = 0$), а в 15-ти второе знамя распевается на секунду ниже. В гласе 4 указанная тенденция в распевах того же тандема уже доминирует ($\Delta = -1$ в 25 случаях из 31). Аналогичную картину мы наблюдаем для тандемов из «статей светлых» $\text{Z} \text{Z}$ в гласе 5 (строка 13). Здесь в 3 случаях из 5 доминирует вариант с $\Delta = -1$.

Группа 4 (строки 14÷20). Сюда включены биграммы, поясняющие понятие «строки» (см.: [3, с. 102–103]) и позволяющие оценить высотные отношения между разными знаменами. Ясно, что более-менее корректно можно сравнивать по высоте лишь наиболее простые (единогласостепенные) знамена, в частности, крюки и некоторые разновидности стрел и статей. Опосредованная возможность сравнения двух произвольных знамен по высоте появляется, если в их толкованиях имеются указания на связь со «строкой», обозначающей некий единый для данного гласа высотный уровень. (Сводная таблица, отражающая высотные взаимосвязи между знаменами, приведена в: [3, с. 103].) Там уровень строки определяется знаменем Z (стрела простая располагается «ни выше строки, ни ниже»), а также знаменами L и Z (столица и стрела поводная). В соответствии с этим на стыках биграмм, составленных из указанных знамен, должны доминировать нулевые интервалы. Анализ двознаменников показывает, однако, что понятие строки в них размыто и в значительной мере определяется гласовой спецификой распева. Строки 14÷16 таблицы 2 иллюстрируют распределение интервалов на стыке знамен, составляющих бигramму $\text{L} \text{Z}$ в гласах 3, 5 и 6. В гласе 3 интервал в большинстве случаев (9 из 10) действительно равен 0. Однако в гласе 5 интервал равен (+1) в 9 случаях из 9, а в гласе 6 его значение равно (-1) в 10 случаях из 11. Аналогичную картину наблюдаем и для биграмм, составленных из других возможных эквивалентов строки.

Гласовая специфика проявляется и при использовании интервалов для ранжирования по высоте представителей одного семейства (например, крюков или статей). Так, в гласе 2

«крюк светлый» в составе биграммы $\text{L} \text{L}$ всегда распеваётся на ступень выше – «крюка мрачного», что согласуется с общеизвестной трактовкой их распевов. Однако в гласе 1 указанное соответствие нарушается в 12 случаях из 57 ($\Delta = -2$).

Немалую роль при сравнении представителей разных семейств играет порядок следования знамен в биграмме. Так, в биграмме $\text{L} \text{Z}$ в 8-м гласе «крюк мрачный» (L) распеваётся выше «статьи мрачной» (Z) в 3-х из 4-х случаев, а в составе биграммы $\text{Z} \text{L}$ – на ступень ниже в 3-х случаях из 9, хотя в [6] эти знамена находятся на одном высотном уровне.

Группа 5 (строки 21, 22). Здесь представлены биграммы с единственным вариантом интервала на стыке. Такая стабильность в сочетании с высокой частотой встречаемости обычно является индикатором вхождения биграмм в состав какой-либо повторяющейся структурной единицы (попевки). В частности, биграмма $\text{Z} \text{Z}$ входит в состав кадансовых структур трёх попевок: «грунки» (архетип $\text{Z} \text{Z} \text{Z}$), «колеса» ($\text{L} \text{Z} \text{Z}$) и «кулизмы» ($\text{Z} \text{Z} \text{Z}$). (При указании архетипов мы апеллируем к работе А. Н. Кручининной [7], в которой предложено разбиение множества попевок на 24 класса по типу завершающих попевки кадансовых структур [архетипов].) Ещё одна индикаторная биграмма ($\text{L} \text{L}$), входящая в состав архетипа «кавычка», приведена в строке 22. Следует отметить, что «индикаторных» биграмм довольно много. Это открывает определённые перспективы для пополнения подборок попевок.

3. Возможности использования статистики интервалов

Ограничимся лишь отдельными комментариями, поясняющими общую стратегию дешифровки и возможность коррекции ошибок реконструкции звуковысотной составляющей знаменного распева с помощью статистики интервалов. Рассматривалась задача нотолинейной реконструкции песнопений двознаменного Ирмология (собрание В. Ф. Одоевского, Москва, РГБ, Ф. 210, № 18) с устранёнными пометами. Использовались дешифровочные словари, построенные по Октоихам [2]. Статистики интервалов получены для Ирмология, нотолинейной реконструкции его беспометной версии и трёх Октоихов.

В песнопениях гласа 1 исходного Ирмология имеется всего одна нисходящая кварта. В нотолинейной реконструкции гласа 1 Ирмология нисходящих интервалов с $|\Delta| \geq 3$ уже 29, а в Октоихах – 23. Значительное количество скачков в реконструированном Ирмологии объясняется рассогласованием обучающего и контрольного материалов. Предварительный вывод состоит в том, что используемый нами достаточно общий алгоритм дешифровки (описанный в: [2]) требует настройки на конкретный тип певческой рукописи.

Возможна также настройка алгоритма дешифровки на определённые классы знамен. Например, наиболее характерным представителем группы 2 (см. раздел 2.2.) является «голубчик борзый» (H). Распевы всех биграмм вида $\text{H} \text{X}$, где X – произвольное знамя, отличное от Z и L , в норме должны характеризоваться интервалом $\Delta = +1$ при переходе от H к X . Однако в реконструированной версии Ирмология фиксируется порядка 20 исключений из этого правила ($\Delta \neq +1$). Опираясь на достаточно убедительную статистику интервалов, полученную при обучении, мы можем классифицировать эти исключения как ошибки и скорректировать их в соответствии с общим правилом. Анализ исходного Ирмология подтверждает правомочность такого решения.

Использование статистики интервалов продемонстрируем на примере биграммы $\text{L} \text{Z}$, встретившейся 27 раз в первом гласе Ирмология. В реконструированной версии Ирмология доминирующим интервалом на стыке распевов L и Z является $\Delta = 0$. Та же биграмма в гласе 1 обучающей подборки (три Октоиха) встретилась 48 раз, но интервал $\Delta = 0$ не зафиксирован ни разу, что вызывает сомнения в корректности дешифровки биграммы. Анализ исходного текста Ирмология подтверждает эти сомнения: интервал $\Delta = 0$ на стыке распевов L и Z (27 случаев) не фигурирует. Полученный вариант дешифровки с $\Delta = 0$ подлежит коррекции.

Итак, авторами исследования характер ошибок нотолинейной реконструкции беспометных знаменных песнопений XVII века, возникающих при использовании алгоритма, описанного в [2]. Основой для его разработки послужили двознаменные певческие рукописи второй половины XVII – начала XVIII века. С помощью данного алгоритма удаётся правильно восстано-



вить певческое значение в среднем для 60–80% знамен в зависимости от гласа. При этом отдельные песнопения дешифруются практически безошибочно. Детальный анализ ошибок дешифровки показал, что большая часть их связана с восстановлением высотной составляющей напева (могут возникать недопустимые звуковысотные интервалы на стыках распевов соседних знамен). Для формализации понятия «допустимый» (недопустимый) интервал получена статистика всевозможных «разрешённых»

(встретившихся в обучающем материале) звуковысотных переходов между соседними знаменами. Эта статистика может использоваться в процессе дешифровки для коррекции не согласующихся с ней вариантов. Более того, она позволяет уточнить некоторые слабо освещённые в литературе вопросы, касающиеся определения понятия «строки» (см.: [3, с. 102–103]), выявления биграммных индикаторов попевок структур, особенностей распева тандемно повторяющихся знамен.



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. DOI: 10.17674/1997-0854.2018.1.096-103.
2. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Мирошниченко Л. А., Титкова Т. Н. Сопоставление и интеграция подходов к дешифровке древнерусских знаменных песнопений // Машинное обучение и анализ данных. 2016. Т. 2, № 4. С. 391–406. DOI: 10.21469/22233792.2.4.03.
3. Бражников М. В. Древнерусская теория музыки. По рукописным материалам XV–XVIII веков. Л.: Музыка, 1972. 424 с.
4. Кручинина А. Н. Попевка в русской музыкальной теории XVII века: автореф. дис. ... канд. искусствоведения. Л., 1979. 19 с.
5. Кутузов Б. П. Русское знаменное пение. М.: Андрей Рублёв, 2008. 304 с.
6. Фролов С. В. К проблеме звуковысотности беспометной знаменной нотации // Проблемы истории и теории древнерусской музыки / сост. А. С. Белоненко Л., 1979. С. 124–147.
7. Philippovich A., Danshina M., Golubeva I. The Methodology of Automated Decoding of Znamenny Chants: CEUR Workshop Proceedings 5 // AIST-SUP 2016. Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts. Yekaterinburg, 2016, pp. 27–41.

Об авторах:

Бахмутова Ирина Владимировна, научный сотрудник, Институт математики им. С. Л. Соболева (630090, г. 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 (630090, г. 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 (630090, г. Новосибирск, Россия), **ORCID: 0000-0003-0127-5826**, luba@math.nsc.ru

Титкова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, ведущий инженер, Институт математики им. С. Л. Соболева (630090, г. Новосибирск, Россия), **ORCID: 0000-0003-1525-4110**, titkova@math.nsc.ru



REFERENCES



1. Alekseeva G. V. Concerning the Study of the Processes of Transmission of the Byzantine Tradition of Church Singing in the Art of Russia and Korea. *Problemy muzykal'noj nauki/Music Scholarship*. 2018. No. 1, pp. 96–103. (In Russ.) DOI: 10.17674/1997-0854.2018.1.096-103.
2. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Miroshnichenko L. A., Titkova T. N. Sopostavlenie i integratsiya podkhodov k deshifrovke drevnerusskikh znamennykh pesnopeniy [Comparison and Integration of Approaches to Deciphering Early Russian Chants]. *Mashinnoe obuchenie i analiz dannykh* [Machine Learning and Data Analysis]. 2016. Vol. 2, No. 4, pp. 391–406.
3. Brazhnikov M. V. *Drevnerusskaya teoriya muzyki. Po rukopisnym materialam XV–XVIII vekov* [The Early Russian Theory of Music. Based on Manuscript Materials from the 15th – 17th Centuries]. Leningrad: Muzyka, 1972. 424 p.
4. Kruchinina A. N. *Popevka v russkoy muzykal'noy teorii XVII veka: avtoref. dis. ... kand. iskusstvovedeniya* [The Popevka in Russian Musical Theory of the 17th Century: Thesis of Dissertation for the Degree of Candidate of Arts]. Leningrad, 1979. 19 p.
5. Kutuzov B. P. *Russkoe znamennoe penie* [Russian Znamenny Chant]. Moscow: Andrey Rublev, 2008. 304 p.
6. Frolov S. V. K probleme zvukovysotnosti bespometnoy znamennoy notatsii [Concerning the Problem of Pitch Znamenny Notation]. *Problemy istorii i teorii drevnerusskoy muzyki* [Issues of the History and Theory of Early Russian Music]. Comp. by A. S. Belonenko. Leningrad, 1979, pp. 124–147.
7. Philippovich A., Danshina M., Golubeva I. The Methodology of Automated Decoding of Znamenny Chants: CEUR Workshop Proceedings 5. *AIST-SUP 2016. Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts*. Yekaterinburg, 2016, pp. 27–41.

About the authors:

Irina V. Bakhmutova, Research Associate, Sobolev Institute of Mathematics (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0002-7777-2311**, bakh@math.nsc.ru

Vladimir D. Gusev, Ph.D. (Technology), Senior Research Associate, Sobolev Institute of Mathematics (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0002-0305-267X**, gusev@math.nsc.ru

Liubov A. Miroshnichenko, Ph.D. (Technology), Senior Research Associate, Sobolev Institute of Mathematics (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0003-0127-5826**, luba@math.nsc.ru

Tatiana N. Titkova, Ph.D. (Technology), Senior Engineer, Sobolev Institute of Mathematics (630090, Novosibirsk, Russia), **ORCID: 0000-0003-1525-4110**, titkova@math.nsc.ru

