

И. В. БАХМУТОВА, В. Д. ГУСЕВ, Т. Н. ТИТКОВА
 Институт математики им. С. Л. Соболева
 Сибирского Отделения РАН

УДК 002.53: 004.89; 78

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ РАЗНОЧТЕНИЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ ОШИБОК В ТЕКСТАХ ДВОЗНАМЕННИКОВ*

Введение

Формирование электронной азбуки знаменного распева на основе существующих двознаменников типа «знамя-нота» было связано для авторов данной работы с весьма трудоёмким этапом ручного кодирования и ввода информации в компьютер [2; 4]¹. Этот процесс сопровождался появлением ошибок, для обнаружения которых были разработаны специальные алгоритмы и программы. Ошибки кодирования верифицируются путём сравнения с оригиналом автоматически обнаруживаемых «подозрительных» знамен и их интерпретаций. Те же программы могут выявлять и противоречия между отдельными компонентами двознаменной нотации или аномальные отклонения по любому из них. Такого рода случаи мы классифицировали как потенциально возможные ошибки или разночтения в текстах самих двознаменников.

Целью данной статьи является описание подходов, используемых для обнаружения разночтений и потенциально возможных ошибок, систематизация последних и обсуждение возможностей исправления. Актуальность исследования определяется тем, что количество выявляемых потенциально возможных ошибок и разночтений достаточно велико и они представляют значительный интерес в плане понимания организации и структуры знаменного распева, а также изучения его вариативности, как «диалектной» (разные школы), так и временной².

Материалом для исследования послужили три двознаменных пометных Октоиха конца XVII – начала XVIII века из Соловецкого собрания РНБ Санкт-Петербурга (шифры 619/647, 618/644 и QI 188).

1. Используемые обозначения

Обиходному звукоряду [см.: 5] соответствуют следующие обозначения нот: G, A, H – соль, ля, си малой октавы; c, d, e, f, g, a, b – до, ре, ми, фа, соль, ля, си-бемоль первой октавы; C, D – до, ре второй октавы. В пометных рукописях эти ноты фиксируются с помощью системы «степенных» помет: Г, Н, Ц, Г (или гн), н, *, м, п, р, с, т, ш.

Кроме степенных помет существуют указательные, поясняющие особенности нотной интерпретации знамени: Г (или Г) – тихая, * – ломка, Г – борзая, У – ударка, К – качка (или «купно»), З – зевок, Р – равно. Знамена с указательной пометой и без неё могут иметь разную интерпретацию³.

Длительности звуков обозначаем следующим образом:

О или 1 (целая), Д или 2 (половинная), Л или 4 (четвертная) и т. д. Для обозначения высоты и длительности звука используем комбинацию буквы и цифры (например, Н4 – это четвертная нота си малой октавы). Интервалы (I) обозначаем в виде целого числа (1 – секунда, 2 – терция, 3 – кварта и т. д.), сопровождаемого знаком (+) для восходящего движения и (–) – для нисходящего. Например, (I=3+) – это скачок на кварту вверх, (I=2–) – на терцию вниз; при повторении звука на одной и той же высоте величина интервала условно обозначается как (I=0+). Знак (*) разделяет нотолинейные интерпретации соседних знамен, а символ эквивалентности (~) отделяет знаменную цепочку от её нотолинейного представления. Например, запись «н ~ д4с4д2*с4е4» означает, что цепочка из двух знамен интерпретируется цепочками из трёх и двух нот, соответственно, разделённых знаком (*).

2. Обнаружение потенциально возможных ошибок и разночтений

В основе обнаружения ошибок любой природы лежит понятие «нормы» и «отклонения от нормы». Незначительные отклонения обычно трактуются как допустимая вариативность, аномальные – как потенциально возможные ошибки. Чёткую границу между этими двумя случаями провести трудно.

Авторы исследовали два типа отклонений от нормы. Первый характеризуется рассогласованием между звуковысотной привязкой нотной цепочки, интерпретирующей данное знамя, и степенной пометой (или близкой ей по смыслу указательной пометой «равно»). В норме эти дублирующие друг друга показатели должны совпадать. Несовпадения возникают из-за ошибок как в нотном, так и в знаменном

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-07-00400 «Формирование электронных словарей инвариантов, квазиинвариантов и попевок для дешифровки знаменных песнопений».

(«пометном») тексте, из-за транспонирования целых гласов или отдельных песнопений (отмечены даже случаи секвентного переноса фрагментов песнопений), а также из-за многочисленных неоговариваемых разночтений или исключений в трактовке степенных помет и указательной пометы «равно».

Другой тип отклонений от «нормы» связан с появлением у знамен нестандартных распевов. Как правило, они являются *низкочастотными* (один – два случая на глас). Нестандартность такого рода может проявляться по-разному: распевание единогогласостепенного знамени двумя звуками, замена восходящего движения звуковысотной линии нисходящим, уменьшение или увеличение длительности звука или величины интервала и т. п. Представление о стандарте формируется выявлением всех вариантов распева каждого знамени в каждом гласе и подсчётом их частот встречаемости [2]. Возможны случаи, когда нестандартный распев знамени многократно представлен в песнопениях гласа. Если при этом знамя встречается каждый раз в одном и том же контексте, то речь может идти о проявлении тайнозамкнутости («лицо») или попевка типа «мережки»). Для анализа всевозможных контекстов мы привлекаем статистику встречаемости *L*-грамм – цепочек из *L* подряд следующих знамен ($L = 1, 2, 3, \dots$). Списки *L*-грамм с указанием их интерпретации и частот встречаемости строятся для каждого гласа.

Важную роль в принятии решения об ошибке играет *наличие модели её возникновения*. Простейшие модели, объясняющие выявляемые несоответствия, могут иметь следующий вид: а) пропущен один из вспомогательных знаков знаменной нотации (отсека (|), подвёртка (v), задержка (.) и т. п.), меняющий интерпретацию знамени; б) знак имеется, но не учитывается при интерпретации; в) нестандартно трактуется, пропущена или игнорируется указательная помета; г) поставлена помета, аналогичная предыдущей, как бы «по инерции» (часто встречается в сериях «столиц», сопровождаемых пометой «равно»); д) начальный звук отнесён к распеву предыдущего знамени и др. Перечисленные модели служат основой для систематизации ошибок.

Существенное значение имеет наличие близких по датировке двознаменных Октоихов. Если аномалия, найденная в одном Октоихе, обнаруживается и в других (при всей их вариативности), это, скорее, говорит о разночтении, а не об ошибке.

Итак, в основе обнаружения потенциально возможных ошибок лежит выявление любых *аномальных отклонений от «нормы»*, носящих, как правило, *нерегулярный характер*, объяснимых в большинстве случаев с помощью *простейших порождающих моделей и не имеющих тенденции к повторению в близких по содержанию и датировке первоисточниках*. Любые же проявления регулярности наблюдаемых аномалий мы склонны трактовать как неоговариваемые исключения из правил (разночтения).

3. Разночтения в определении звуковысотных значений

3.1. Исключения из правил не всегда оговариваются в тексте певческой рукописи. Наиболее простые случаи связаны с *транспонированием высоких гласов на кварту вниз*. При этом наблюдается несоответствие степенных помет нотному тексту во всём гласе. Например, в Октоихах 619/647 и 618/644 третий и пятый гласы транспонированы на кварту вниз, поэтому в них на истинную высоту указывают степенные пометы, а не нотный текст.

Возможны случаи транспонирования в гласе отдельных песнопений, а порой только их фрагментов. Так, в песнопении «Блаженна» (8 гл., 618/644, л.115 об.) пометы знамен, занимающих позиции с 28-й по 38-ю, а также с 60-й и до конца, соответствуют нотам в цефалном ключе, а не в басовом, в котором написан весь Октоих. Часто несоответствия помет нотам встречаются в разводах фит. Иногда их можно объяснить предположением, что в 3-м или 5-м транспонированных гласах приведены разводы фит из не-транспонированных гласов.

3.2. Многочисленные разночтения в определении звуковысотных значений возникают из-за неоднозначностей в трактовке степенных помет. Напомним, что степенная помета, по определению, указывает *наивысший звук* в распеве знамени [5]. Однако анализ Октоихов демонстрирует множество исключений из этого правила, носящих довольно регулярный характер. Так, в составных знаменах ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ или ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ , содержащих «переводку» (ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ), помета нередко указывает на самый низкий звук в её распеве (например, $\text{ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ} \sim e2f4g4$ или $\text{ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ} \sim d2e4f4$), хотя иногда он бывает заливован со статьёй ($\text{ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ} \sim e2.f4$, здесь первый звук распева переводки e4 включён в распев статьи).

Встречаются случаи, когда помета указывает на первый звук в распеве знамени. Например, знамя «полукулизма малая» ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ , часто встречающееся в попевке «поворотка» ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ в 8-м гласе всех трёх Октоихов, интерпретируется цепочкой e4d4e4f4, то есть степенная помета (•) указывает на первый звук (e – *ми*), а не на самый низкий (d – *ре*) или высокий (f – *фа*). При этом пометы всех остальных знамен в попевке указывают на наивысший звук в распеве.

Ещё один вид отклонений от общего правила обусловлен тем, что иногда у помет ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ и ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ из простого согласия пропущен «крыж» ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ , из-за чего они воспринимаются как «г» и «н» из мрачного согласия, и возникает расхождение на кварту между истинной высотой звука и пометой. Характерный пример – интерпретация «стрелы громной» ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ в попевках «долinka» 1-го гласа Октоиха 619/647:

$\text{ⲓⲛⲁⲙⲉⲛⲓ} \sim d2*d4H4*c4e4*e4d4*d4H4c4H4*A1*G1$.

Как и в случае с «повороткой», степенные пометы у других знамен поставлены правильно. Заметим,

что если бы мы интерпретировали «стрелу громную» ♩ нотой d1, как предписано пометой, величина интервала между ♩ и ♩ оказалась бы аномально большой (4–).

Все вышеописанные разночтения ввиду регулярности их повторения следует классифицировать, скорее, как исключения из правил, но не ошибки. Тем не менее, следует помнить, что формальное применение правила «степенная помета соответствует наивысшему звуку в распеве знамени» может реально привести к ошибкам при нотолинейной реконструкции пометного текста.

Несоответствия, которые не укладываются в вышеописанные схемы, скорее всего, должны быть классифицированы, как ошибки. Доля таких случаев от общего числа колеблется для разных гласов в пределах 5 – 10%.

Пример 1. Одно из вхождений «крыжа» в гласе 3 (Q1 188) интерпретируется нотой g1 ($\bullet \sim g1$), а не e1, соответствующей помете (\bullet). Что правильно: помета или нота? Распределение интерпретаций «крыжа» по ступеням звукоряда в этом гласе показывает, что 14 раз ему соответствует *ми* первой октавы, 5 раз – *до* первой октавы, поэтому, вероятнее всего, ошибка в ноте: должно быть e1.

3.3. Значительное количество несоответствий помет нотам возникает при использовании *указательной пометы* ρ («равно»), которая, в трактовке М. В. Бражникова, «указывает на то, что знамя, при котором она стоит, исполняется на той же (равной) высоте, что и предшествующее ему (при многогласостепенности знамени относится к наивысшему звуку в его распеве)» [5, с. 315]. Такое определение пометы не слишком удобно для использования в случае многогласостепенных знамен: нужно выравнивать распевы двух знамен по самым высоким их звукам, которые могут быть значительно разнесены друг от друга. Видимо, поэтому пометой ρ пользуются отнюдь не во всех случаях, когда наивысшие звуки в распевах соседних знамен совпадают по высоте. Общая тенденция такова: помету ρ применяют, в основном, тогда, когда наивысшие звуки в распевах соседних знамен не только совпадают по высоте, но и максимально сближены, т. е. находятся рядом, как в следующих примерах:

$\bullet \text{ } \rho \text{ } \bullet \text{ } \rho \text{ } \bullet \text{ } \sim e2 * e2 * e4d4$; $\pi \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim e4f4g4a4 * a4g2$; $\pi \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim e4f4g2 * g4f4$

Что же имеет место, когда последнее условие не выполнено? В Октоихе 619/647 его абсолютизируют, допуская при этом даже отклонения от трактовки Бражникова, например: $\bullet \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim e2 * d4e4d2 * d2$. Здесь первое и второе знамена имеют одинаковую высоту (*ми* первой октавы), однако помета ρ не ставится, так как звуки на стыке имеют разную высоту; у второго и третьего знамен наивысшие звуки не совпадают (отклонение от схемы Бражникова), однако помета ρ поставлена, поскольку звуки на стыке име-

ют одинаковую высоту. В аналогичных ситуациях в Октоихах 618/644 и Q1 188 придерживаются трактовки Бражникова, то есть для использования пометы требуется лишь совпадение высот наивысших, но не обязательно соседних, звуков, как видно ниже:

$\pi \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim g4f4 * g2$; $\pi \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim g2 * f4g4$; $\pi \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim e4f4g2 * f4g4$.

Приведём примеры характерных разночтений (несоответствий) и ошибок, связанных с употреблением пометы «равно». Как правило, факт несоответствия или ошибки зафиксировать легко, труднее обосновать вариант исправления. Мы будем следовать принципу «минимизации усилий», то есть придерживаться простейшей из возможных схем порождения, а, следовательно, и исправления ошибки.

Пример 2 (Октоих 618/644): $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim f2 * e4d4 * f2$. Интерпретация знамени ♩ не стыкуется здесь с интерпретациями соседних знамен (нет нот с «равной» высотой). Вероятно, вместо e4d4 должно быть f4e4, тогда всё согласуется при условии, что помета ρ трактуется по Бражникову.

Пример 3 (Октоих 619/647): $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim f2 * f2 * f2 * f2 * e4d4$. Несоответствие очевидно – последнее ρ поставлено как бы «по инерции» вместо степенной пометы (\bullet). Однако, в ситуации $\dots \text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim \dots e2 * d2 * e1$ логичнее считать ошибочной не помету ρ , а ноту d2, так как одна замена d2 на e2 устраняет рассогласование с соседними знаменами, а иначе придётся вносить два исправления (вместо двух последних ρ поставить нужные степенные пометы).

Пример 4 (Октоих 619/647): $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim g2f2 * e2.f4$. Это пример нестандартного, но регулярно повторяющегося использования пометы ρ внутри составного знамени ♩ («статья с переводкою»). Здесь сферы влияния помет (\bullet) и ρ разделены: первая задаёт высоту статьи $\text{♩} \sim e2$, а ρ указывает на первый звук распева переводки e4, который в данном случае отнесён к распеву статьи (залигован в e2.). Аргументами для такой трактовки являются: 1) стандартное распевание статьи в ♩ половинной (!) нотой, а переводки – двумя четвертными; 2) упоминавшаяся выше аномалия с трактовкой степенной пометы у переводки: она указывает на первый (самый низкий) звук в распеве знамени – эту функцию в данном случае выполняет ρ ; 3) повторяемость аналогичных ситуаций в других контекстах, например: $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim c2d2 * e4$ или $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim e2 * d4$, или $\text{♩} \text{ } \rho \text{ } \text{♩} \text{ } \sim g2 * f4e2$ – здесь также нет противоречия, поскольку во всех случаях ρ относится к четвертным нотам, залигованным в распеве предыдущего знамени.

4. Разночтения, связанные с использованием указательных помет и вспомогательных знаков знаменной нотации

Указательные пометы (за исключением ρ) и вспомогательные знаки знаменной нотации могут изменять распев знамени, то есть его ритмический

рисуюнок, интервальную характеристику, направление движения звуковысотной линии, число звуков в распеве. Большинство ошибок, связанных с использованием этих знаков, относится к одному из двух типов: указательная помета или вспомогательный знак знаменной нотации поставлены, но не учитываются, и, наоборот, учитываются, хотя не поставлены. Провести границу между различием и ошибкой порой трудно, особенно применительно к указательным пометам, интерпретация которых в разных руководствах не всегда совпадает (см.: [1]).

Изменение длительности звуков в сторону уменьшения чаще всего демонстрируют знамена $\downarrow, \downarrow, \downarrow$ (↓ вместо стандартной ↓). Естественно предположить, что в этих случаях опущена либо «отсека» (↓), либо «ударка» (↓), либо «борзая» (↓), обычно уменьшающие длительность звука. То же самое происходит при игнорировании «оттяжки» (например, $\sim d2$) или пометы «тихой» (обычно в многогласостепенных знаменах).

Нестандартная интервальная характеристика возникает при игнорировании пометы «ломка» ($I=1+$ вместо $2+$, предписываемого «ломкой»).

Пример 5 (Октоих 619/647): $\sim d2*d4N4*c4d4*e4d4$. Здесь помета P перед последним знаменем не соответствует ни трактовке, принятой в 619/647 (равенство высот звуков на стыке знамен), ни трактовке Бражникова (согласование по наивысшим звукам). Видимо, несоответствие возникает из-за того, что в распеве «голубчика борзого» не учтена помета, то есть вместо $c4d4$ должно быть $c4e4$, что устраняет противоречие с пометой P .

Однако количество таких несоответствий при употреблении «ломки» столь значительно, что трудно все их трактовать, как ошибки. Более того, сравнение разных Октоихов указывает на наличие определённой системы: в одном Октоихе помета поставлена, но почти всегда игнорируется, в другом почти всегда учитывается, в третьем возможен промежуточный вариант. Одна из гипотез, объясняющих неоднозначную трактовку «ломки», состоит в том, что \ast указывает не столько на величину интервала (она может быть как $2+$, так и $1+$), сколько на то, что знамя с этой пометой выходит на один звуковысотный уровень с первой нотой следующего знамени, а не подводит к нему снизу, как знамя без «ломки» (см.: [3]). Термин «ломка» больше соответствует такой трактовке, так как сигнализирует об изменении характера движения звуковысотной линии (выход на локальный максимум, за которым следует излом звуковысотной линии).

Заметим, что значительное количество нестандартных распевов с движением звуковысотной линии на терцию вверх ($I=2+$) или вниз ($I=2-$) встречается (но уже без каких-либо указательных помет) у многих знамен, стандартно распеваемых восходящей или нисходящей секундой (например, таких, как

«скамейца» \sim ($I=1+$), «столица с очком» \downarrow ($I=1-$) или «подчасие светлое» \sim ($I=1-$). Более того, та же «скамейца» (\sim) в гласе 5 Октоиха 619/647 четырежды интерпретируется цепочкой $d4g4$ (скачок на кварту ($I=3+$), довольно редкий для знаменного распева). Привлечение контекста показывает, что это не ошибка: так интерпретируется «скамейца» лишь в составе биграммы $\sim e4f4*d4g4$, расширяемой (без потери частоты) до $\sim e4f4*d4g4*f4e4d2$. Иными словами, нестандартные распевы знамен, появляющиеся в одинаковом контексте, нельзя трактовать как ошибку.

Аномалии, проявляющиеся в изменении стандартного направления движения звуковысотной линии, встречаются довольно редко и связаны обычно либо с проявлениями тайнозамкнутости (распев «скамейцы» нисходящим движением в некоторых разновидностях «мережи»), либо с игнорированием «подвёртки» или «подчасия». Например, интерпретация $\sim d4f4$ ($I=2+$) в составе попевки $\sim d4f4$ выглядит ошибочной, так как «подвёртка» предполагает наличие в распеве нисходящего движения (возможно, наряду с восходящим). Скорее всего, здесь пропущена третья нота – $d4$, которая «реализует» нисходящую ветвь. Наличие третьей ноты в распеве «переводки с подвёрткой» в составе указанной попевки подтверждается анализом других Октоихов.

Более интересен встретившийся 3 раза в Октоихе 619/647 вариант трактовки единогласостепенного знамени \sim двумя звуками в составе попевки $\sim e4f4*g2*e4f4*e1$. Возможно, ключом к разгадке является наличие в том же гласе тех же попевок с «правильной» интерпретацией $\sim f2$, а также попевок \sim с заменой \sim на $\sim e4f4$, что не вызывает возражений. Вероятная модель возникновения ошибки: переписчик поставил перед статьёй «палку» \sim , а интерпретацию к ней $e4f4$ взял от «скамейцы» \sim , поскольку встречались оба варианта. Рассмотренный пример показывает, что изменение числа звуков в распеве знамен по сравнению со стандартным также может сигнализировать об ошибке.

Заключение

Компьютерный анализ достаточно представительной подборки Октоихов конца XVII – начала XVIII века позволил сформулировать понятие «нормы» и «аномального отклонения от нормы» для распева (распевов) каждого знамени и всевозможных цепочек из $L \geq 2$ знамен. Аномальные отклонения по частоте встречаемости, числу и длительности звуков в распеве, звуковысотной привязке, характеру движения звуковысотной линии можно классифицировать как потенциально возможные ошибки или (в случае их регулярности) как несоответствия, возникшие в результате различий в трактовке степенных и указательных помет, проявлений тайнозамкнутости («идиоматичности»), «диалектных» особенностей

знаменного распева и прочих факторов. Показано, что количество аномалий велико, и игнорирование их может привести к ошибкам при нотолинейной реконструкции пометных, но уже не двознаменных текстов.

Проведена систематизация выявленных разночтений, рассмотрены наиболее вероятные механизмы

их возникновения. Обсуждаются и иллюстрируются возможности исправления тех несоответствий, которые классифицированы как ошибки. При решении этой многовариантной, в общем случае, задачи полезным может оказаться принцип «минимизации усилий» (в данном случае – числа исправлений, требующихся для устранения несоответствий).

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Электронные средства копирования не обеспечивают требуемую надёжность распознавания (особенно при плохом качестве оригинала)

² Общие сведения о специфике знаменного распева можно найти в труде М. В. Бражникова: [5].

³ Подробнее о семантике степенных и указательных помет см.: [5], а о практике их использования: [1; 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. О функциях указательных помет (на материале двознаменника XVIII века) // Сибирский музыкальный альманах. – Новосибирск, 2002. – С. 81–92.

2. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Создание электронной азбуки знаменного распева на основе анализа двознаменников // Древнерусское песнопение. Пути во времени: по материалам междунар. конф. «Бражниковские чтения» 2008–2009 гг. – СПб., 2010. – Т. 4. – С. 99–108.

3. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Факторы, влияющие на точность нотолинейной ре-

конструкции пометных знаменных песнопений // Сибирский музыкальный альманах. – Новосибирск, 2004. – С. 51–59.

4. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Электронная азбука знаменного распева [Электронный ресурс]. – Регистрация в Объединённом фонде электронных ресурсов «Наука и Образование» (ОФЭРНиО), регистрационный № 16062.

5. Бражников М. В. Древнерусская теория музыки. – Л.: Музыка, 1972.

Бахмутова Ирина Владимировна

научный сотрудник Института математики
Сибирского отделения Российской Академии Наук

Гусев Владимир Дмитриевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник Института математики
Сибирского отделения Российской Академии Наук

Титкова Татьяна Николаевна

кандидат технических наук,
научный сотрудник Института математики
Сибирского отделения Российской Академии Наук

