ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/wsd-2018-3-12-23

УДК 616-093/-098

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВЬЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Наркевич А.Н.

Цель. Построение математических моделей деревьев классификации для распознавания объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена.

Материалы и методы. Использовались данные о 177 393 объектах, выделенных на цифровых изображениях микроскопических препаратов: 6 708 объектов – кислотоустойчивые микобактерии, 170 685 – иные объекты. Анализ объектов производился по 240 цветовым и морфометрическим признакам. Для классификации объектов использовались деревья классификации, построенные различными методами.

Результаты. Наибольшим показателем точности обладает дерево классификации, построенное методом Исчерпывающий CHAID, но данное дерево имеет более низкий показатель чувствительности по сравнению с деревом классификации, построенным методом CHAID. При этом последнее упомянутое дерево классификации включает в себя меньшее количество параметров объектов, необходимых для классификации. Чувствительность дерева классификации построенного методом CHAID составила 94,0 [93,4; 94,6]%, специфичность – 92,1 [92,0; 92,1]%, точность – 92,2 [92,1; 92,3]%.

Заключение. Построенные с использованием различных методов деревья классификации позволяют осуществлять автоматическое распозна-

вание объектов, выделяемых на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена. При этом наилучшими показателями, характеризующими диагностическую способность данных моделей, для решения данной задачи обладает дерево классификации, построенное методом CHAID.

Ключевые слова: деревья классификации; математическое моделирование; кислотоустойчивые микобактерии; бактериоскопическая диагностика.

THE USE OF CLASSIFICATION TREES FOR OBJECT RECOGNITION ON DIGITAL IMAGES OF MICROSCOPIC PREPARATIONS

Narkevich A.N.

Background. The construction of mathematical models of classification trees for object recognition in digital microscopic images of sputum stained by the method of Ziehl-Nielsen.

Materials and methods. Data on 177,393 objects isolated on digital images of microscopic preparations were used: 6,708 objects – acid-fast mycobacteria, 170,685 – other objects. The analysis of objects was carried out on 240 color and morphometric features. Classification of objects used classification trees, built by different methods.

Result. The highest degree of accuracy is possessed by the classification tree constructed by the method of Comprehensive CHAID, but this tree has a lower sensitivity index than the classification tree constructed by the CHAID method. In addition, the latter classification tree includes a smaller number of object parameters required for classification. The sensitivity of the classification tree constructed by the CHAID method was 94.0 [93.4; 94.6]%, specificity 92.1 [92.0; 92.1]%, accuracy – 92.2 [92.1; 92.3]%.

Conclusion. Constructed using different methods, classification trees allow automatic recognition of objects isolated on digital microscopic images of sputum stained using the Ziehl-Nielsen method. At the same time, the classification tree constructed by the CHAID method has the best indicators characterizing the diagnostic ability of these models.

Keywords: classification trees; mathematical modeling; acid-fast mycobacteria; bacterioscopic diagnostics.

Применение методов математического моделирования и компьютерных технологий для решения медицинских задач получает все большее распространение [1, 2, 3, 4]. В качестве математического аппарата такого подхода применяется довольно большое число различных математических моделей. Так довольно широкое применение в медицинских исследованиях получили методы логистического регрессионного анализа [5, 6, 7, 8], построения дискриминантных уравнений [9, 10, 11, 12], искусственных нейронных сетей [13, 14, 15, 16]. Условно все задачи, которые решаются с использованием данных методов можно разделить на регрессионные и классификационные [17]. Под регрессионными задачами подразумевается прогнозирование какого-либо количественного признака. Классификационные задачи подразумевают прогнозирование качественного признака, то есть отнесение к одному из классов. Довольно часто в решении задачи классификации применяются деревья решений или деревья классификации.

Одной из классификационных задач, которая может быть решена с использованием математических методов является распознавание объектов, которые выделяются на цифровых изображениях микроскопических препаратов, окрашенных по методу Циля-Нильсена. На сегодняшний день качество микробиологической диагностики туберкулеза в клинко-диагностических лабораториях общей лечебной сети остается не на должном уровне. Это связано в первую очередь с довольно рутинной методикой просмотра микроскопических препаратов, согласно которой необходимо на одном препарате просмотреть большое число полей зрения. Во-вторых, с тем, что общая укомплектованность кадрами клинко-диагностических лабораторий в учреждениях общей лечебной сети составляет 63%, а врачами-бактериологами – чуть более 50% [18]. Это приводит к тому, что при проведении бактериоскопической диагностики туберкулеза возникает большое число ошибок [19] и учреждения общей лечебной сети постепенно перестают осуществлять бактериоскопическую диагностику. В 2014 году доля больных туберкулезом, выявленных данным методом от впервые выявленных бактериовыделителей, составила лишь 0,23% [20]. Использование методов математической классификации объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена, позволит вести к минимуму перечисленные выше недостатки.

Целью работы является построение математических моделей деревьев классификации для распознавания объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования явились 177 393 объекта, выделенных с использованием одного из разработанного нами алгоритма, на цифровых изображениях микроскопических препаратов мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена [21], полученных с помощью тринокулярного микроскопа Микромед 1 вар. 3-20 при увеличении 10×60 с установленной цифровой камерой TourCam UCMOS01300KPA с разрешением 0,3 МР. Каждое изображение имело разрешение 572 x 422 пикселей. Среди выделенных объектов 6 708 объектов являются КУМ, а 170 685 объектов – иные объекты (артефакты, скопления мокроты, части клеток и т.д.).

Анализ данных объектов производился по 240 цветовым и морфометрическим признакам [22]. Данные признаки разделены на 3 группы, которые подразделяется на подгруппы. Для анализа использована следующая классификация признаков:

1. Основные морфометрические признаки объектов:
 - а) попиксельная площадь объектов (в пикселях);
 - б) размер объектов по оси X (в пикселях);
 - в) размер объектов по оси Y (в пикселях).
2. Радиальные размеры объектов и их соотношения:
 - а) размеры от центра объекта до его края (всего 72 параметра);
 - б) соотношения противоположащих размеров от центра объекта до его края (всего 36 параметров);
 - в) соотношения перпендикулярных размеров от центра объекта до его края (всего 72 параметра);
 - г) соотношения перпендикулярных размеров от одного края объекта до его противоположного края (всего 36 параметров).
3. Цветовые признаки объектов:
 - а) характеристики цвета объектов в цветовой схеме RGB (всего 9 параметров);
 - б) характеристики цвета объектов в цветовой схеме HSV (всего 9 параметров);
 - в) характеристики цвета объектов в оттенках серого (всего 3 параметра).

Основные морфометрические признаки объектов, радиальные размеры объектов и их соотношения измеряются в пикселях. Измерение цветовых признаков осуществлялось в безразмерных единицах, однако интервал возможных значений отличался в зависимости от цветовой схе-

мы. Так, цвета объектов в цветовой схеме RGB и в оттенках серого измерялись в интервале от 0 до 255, параметры, отражающие H в цветовой схеме HSV, измерялись в интервале от 0 до 359, а параметры, характеризующие S и V, измерялись в интервале от 0 до 100.

Для классификации объектов осуществлялось формирование деревьев классификации с применением 4 методов построения: CHAID, Исчерпывающий CHAID, CRT и QUEST. Для оценки качества получаемых деревьев классификации число признаков, входящих в модель, чувствительность, специфичность и точность модели, а также доля ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Для каждого показателя рассчитывался 95% доверительный интервал. Построение деревьев классификации осуществлялось с использованием IBM SPSS Statistics v.19.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показывают результаты построения деревьев классификации, приведенные в таблице 1, наибольшая доля истинно отрицательных результатов была получена при использовании дерева классификации построенного методом Исчерпывающий CHAID. При этом в данном дереве классификации использовано 167 параметров объектов из 240, что значительно меньше, чем у деревьев классификации построенных методами CRT и QUEST.

Таблица 1.

Результаты построения деревьев классификации

Метод построения	Число параметров	ИПР, абс., %	ИОР, абс., %	ЛПР, абс., %	ЛОР, абс., %
CHAID	159	6306 3,55%	157252 88,65%	13433 7,57%	402 0,23%
Исчерпывающий CHAID	167	6286 3,54%	157806 88,96%	12879 7,26%	422 0,24%
CRT	235	6316 3,56%	148595 83,77%	22090 12,45%	392 0,22%
QUEST	231	6191 3,49%	148151 83,52%	22534 12,70%	517 0,29%

Примечание: ИПР – истинно положительные результаты, ИОР – истинно отрицательные результаты, ЛПР – ложно положительные результаты, ЛОР – ложно отрицательные результаты.

Наибольшая доля истинно положительных результатов была получена при использовании дерева классификации построенного методом CRT. Однако, у данного дерева классификации отмечена более низкая доля истинно отрицательных результатов, по сравнению с деревьями классификации построенными методами CHAID и Исчерпывающий CHAID.

Для оценки диагностической ценности построенных деревьев классификации необходимо оценить показатели чувствительности, специфичности и точности (таблица 2). При оценке данных показателей необходимо учитывать, что при решении задачи классификации объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена наиболее значимыми являются показатели точности и чувствительности. Это связано с тем, что чувствительность отражает способность модели не давать ложноотрицательные результаты классификации, что особенно важно при скрининговых обследованиях, для которых используется бактериоскопический метод выявления туберкулеза с окраской мокроты по методу Циля-Нильсена.

Таблица 2.

**Показатели характеризующие диагностическую ценность
полученных деревьев классификации**

Метод построения	Чувствительность, % [ДИ 95%]	Специфичность, % [ДИ 95%]	Точность, % [ДИ 95%]
CHAID	94,0 [93,4; 94,6]	92,1 [92,0; 92,1]	92,2 [92,1; 92,3]
Исчерпывающий CHAID	93,7 [93,1; 94,3]	92,5 [92,3; 92,6]	92,5 [92,4; 92,6]
CRT	94,2 [93,6; 94,7]	87,1 [86,9; 87,2]	87,3 [87,2; 87,4]
QUEST	92,3 [91,6; 92,9]	86,8 [86,6; 87,0]	87,0 [86,9; 87,1]

Так наибольшим показателем точности обладает дерево классификации, построенное методом Исчерпывающий CHAID, но данное дерево имеет более низкий показатель чувствительности по сравнению с деревом классификации, построенным методом CHAID. При этом последнее упомянутое дерево классификации включает в себя меньшее количество параметров объектов, необходимых для классификации.

Заключение

Таким образом, построенные с использованием различных методов деревья классификации позволяют осуществлять автоматическое рас-

познавание объектов, выделяемых на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена. При этом наилучшими показателями, характеризующими диагностическую способность данных моделей, для решения текущей задачи обладает дерево классификации построенное методом CHAID: чувствительность – 94,0 [93,4; 94,6]%, специфичность – 92,1 [92,0; 92,1]%, точность – 92,2 [92,1; 92,3]%. Помимо этого, данное дерево классификации позволяет осуществлять классификацию объектов с использованием наименьшего количества параметров объектов, что ускоряет скорость его работы. Построенные деревья классификации могут быть использованы в системах автоматизированной бактериоскопической диагностики туберкулеза, что позволит увеличить скорость данного процесса и повысить его качество.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Kaplan A., Lock E.F. Prediction with dimension reduction of multiple molecular data sources for patient survival // Cancer informatics. 2017. № 16. e1176935117718517.
2. Automated seizure detection using limited-channel EEG and non-linear dimension reduction / Birjandtalab J., Baran Pouyan M., Cogan D., Nourani M., Harvey J. // Computers in biology and medicine. 2017. № 82, pp. 49–58.
3. Грицинская В.Л., Москаленко О.Л. Использование компьютерных технологий при проведении диспансеризации детского населения Республики Тыва // В мире научных открытий. 2017. № 2. С. 158–167.
4. Supervised nonlinear dimension reduction of functional magnetic resonance imaging data using Sliced Inverse Regression / Tu Y., Tan A., Fu Z., Sam Hung Y., Hu L., Zhang Zh. // Conference proceedings: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Milan, 2015, pp. 2641–2645.
5. Стрижов В.В., Мотренко А.П. Многоклассовая логистическая регрессия для прогноза вероятности наступления инфаркта // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2012. № 1. С. 153–162.
6. Гарганеева Н.П., Леонов В.П. Логистическая регрессия в анализе связи артериальной гипертензии и психических расстройств // Сибирский медицинский журнал. 2001. Т. 16. № 3–4. С. 42–48.

7. Микшина В.С., Павлов С.И. Использование логистической регрессии при выборе способа кардиоopleгии // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 39. С. 49–56.
8. Андосова Л.Д., Конторщикова К.Н., Шахова К.А. Многофакторный регрессионный анализ в прогнозе развития цервикальных поражений инфекционного генеза // Медицинский альманах. 2017. № 2 (47). С. 111–113.
9. Возможности электрокардиографии в диагностике гипертрофии миокарда левого желудочка / Богомолов С.Н., Солнцев В.Н., Куликов А.Н., Кучмин А.Н. // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2016. № 3 (55). С. 51–56.
10. Системы оценки контролируемости бронхиальной астмы / Безруков Н.С., Еремин Е.Л., Колосов В.П., Перельман Ю.М., Хижняк Ю.Ю. // Информатика и системы управления. 2009. № 4 (22). С. 159–163.
11. Быстрицкая Т.С., Штель Н.Н., Лысяк Д.С. Прогнозирование плацентарной недостаточности у беременных с нарушением становления менструальной функции в пубертатном периоде // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2011. № 42. С. 55–59.
12. Прозорова А.В., Приходько А.Г. Построение прогнозной модели прогрессирующего течения хронической обструктивной болезни легких // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 168–169.
13. Филист С.А., Шаталова О.В., Ефремов М.А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 6. С. 35–69.
14. Барский А.Б., Дмитриев А.А., Барская О.А. Медицинские информационно-справочные системы на логических нейронных сетях // Информационные технологии. 2010. № S1. С. 1–32.
15. Петров С.Б., Шешунов И.В. Оценка эффективности применения искусственных нейронных сетей в медико-экологических исследованиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 9–6. С. 1098–1101.
16. Муха Ю.П., Скворцов М.Г., Дружинин Д.Г. Метрологическое описание нейронных сетей // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 4. С. 20–23.
17. Гулятьева Т.А., Попов А.А., Саутин А.С. Методы статистического обучения в задачах регрессии и классификации. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. 323 с.
18. Чердниченко А.Г., Ревакина О.В., Петренко Т.И. Состояние лабораторной службы по диагностике туберкулеза в Сибирском и Дальневосточ-

- ном федеральных округах // Туберкулез и болезни легких. 2014. №5. С. 16–20.
19. Оценка качества диагностики туберкулеза методами микроскопии в РФ за 2011–2014 гг. по результатам ФСВОК / Мезенцева Н.И., Евгушенко Г.В., Пузанов В.А., Попов С.А., Фрейман Г.Е. // Туберкулез и болезни легких. 2015. № 6. С. 96–97.
20. Еремеева Н.И., Вахрушева Д.В. Эффективность выявления больных туберкулезом с бактериовыделением в клинико-диагностических лабораториях учреждений первичной медико-санитарной помощи Урала в 2010–2012 гг. // Туберкулез и болезни легких. 2015. № 7. С. 40–42.
21. Сегментация микроскопических изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена, с использованием вейвлет-преобразования Mexican Hat / Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Корецкая Н.М., Соболева В.О. // Acta Biomedica Scientifica. 2017. Т. 2. № 5. С. 141–146.
22. Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Корецкая Н.М. Параметризация объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена // Сибирское медицинское обозрение. 2017. № 5 (107). С. 53–59.

References

1. Kaplan A., Lock E.F. Prediction with dimension reduction of multiple molecular data sources for patient survival. *Cancer informatics*, 2017, № 16, e1176935117718517.
2. Birjandtalab J., Baran Pouyan M., Cogan D., Nourani M., Harvey J. Automated seizure detection using limited-channel EEG and non-linear dimension reduction. *Computers in biology and medicine*, 2017, № 82, pp. 49–58.
3. Gritsinskaya V.L., Moskalenko O.L. Ispol'zovanie komp'yuternykh tekhnologiy pri provedenii dispanserizatsii detskogo naseleniya Respubliki Tyva [The use of computer technologies at carrying out of prophylactic medical examination of children of the Republic of Tuva]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2017, № 2, pp. 158–167.
4. Tu Y., Tan A., Fu Z., Sam Hung Y., Hu L., Zhang Zh. Supervised nonlinear dimension reduction of functional magnetic resonance imaging data using Sliced Inverse Regression. *Conference proceedings: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Milan, 2015, pp. 2641–2645.
5. Strizhov V.V., Motrenko A.P. Mnogoklassovaya logisticheskaya regressiya dlya prognoza veroyatnosti nastupleniya infarkta [Multi-class logistic regres-

- sion to predict the probability of a heart attack]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki* [Proceedings of the Tula state University. More natural science], 2012, № 1, pp. 153–162.
6. Garganeeva N.P., Leonov V.P. Logisticheskaya regressiya v analize svyazi arterial'noy gipertonii i psikhicheskikh rasstroystv [Logistic regression in the analysis of the relationship between hypertension and mental upset]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal* [Siberian medical journal], 2001, Vol. 16, № 3-4, pp. 42–48.
 7. Mikshina V.S., Pavlov S.I. Ispol'zovanie logisticheskoy regressii pri vybere sposoba kardiopleгии [The use of logistic regression in choosing a method of cardioplegia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Vestnik of Tomsk state University. Management, computer engineering and computer science], 2017, № 39, pp. 49–56.
 8. Andosova L.D., Kontorshchikova K.N., Shakhova K.A. Mnogofaktornyy regressionnyy analiz v prognoze razvitiya tservikal'nykh porazheniy infektsionnogo geneza [Multivariate regression analysis in prediction of cervical porazheniy infectious Genesis]. *Meditsinskiy al'manakh* [Medical almanac], 2017, № 2, pp. 111–113.
 9. Bogomolov S.N., Solntsev V.N., Kulikov A.N., Kuchmin A.N. Vozmozhnosti elektrokardiografii v diagnostike gipertrofii miokarda levogo zheludochka [Possibilities of electrocardiography in the diagnosis of left ventricular hypertrophy]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Russian military medical Academy], 2016, № 3, pp. 51–56.
 10. Bezrukov N.S., Eremin E.L., Kolosov V.P., Perel'man Yu.M., Khizhnyak Yu.Yu. Sistemy otsenki kontroliruemosti bronkhial'noy astmy [Evaluation system accountability bronchial asthma]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2009, № 4, pp. 159–163.
 11. Bystritskaya T.S., Shtel' N.N., Lysyak D.S. Prognozirovaniye platsentarnoy nedostatochnosti u beremennykh s narusheniem stanovleniya menstrual'noy funktsii v pubertatnom periode [Prediction placental insufficiency in pregnant women with impaired formation menstrual function in the pubertal period]. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of physiology and pathology of respiration], 2011, № 42, pp. 55–59.
 12. Prozorova A.V., Prihod'ko A.G. Postroeniye prognoznoy modeli progressiruyushchego techeniya khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh [Constructing a predictive model of progressive course of chronic obstructive pulmonary disease]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2008, № 2, pp. 168–169.

13. Filist S.A., Shatalova O.V., Efremov M.A. Gibrinaya neyronnaya set' s makrosloyami dlya meditsinskikh prilozheniy [Hybrid neural network macro slope for medical applications]. *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: development, application], 2014, № 6, pp. 35–69.
14. Barskiy A.B., Dmitpiev A.A., Bapskaya O.A. Meditsinskie informatsionno-spravochnye sistemy na logicheskikh neyronnykh setyakh [Medical information and referral system for Boolean neural networks]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2010, № 1, pp. 1–32.
15. Petrov S.B., Sheshunov I.V. Otsenka effektivnosti primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey v mediko-ekologicheskikh issledovaniyakh [Evaluation of the effectiveness of the use of artificial neural networks in medical and environmental research]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental study], 2013, № 9–6, pp. 1098–1101.
16. Mukha Yu.P., Skvortsov M.G., Druzhinin D.G. Metrologicheskoe opisanie neyronnykh setey [Metrological description of neural networks]. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technologies and radioelectronics], 2002, № 4, pp. 20–23.
17. Gul'tyaeva T.A., Popov A.A., Sautin A.S. *Metody statisticheskogo obucheniya v zadachakh regressii i klassifikatsii* [Methods of statistical training in regression and classification problems]. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2016. 323 p.
18. Cherednichenko A.G., Revyakina O.V., Petrenko T.I. Sostoyanie laboratornoy sluzhby po diagnostike tuberkuleza v Sibirskom i Dal'nevostochnom federal'nykh okrugakh [As a laboratory service for the diagnosis of tuberculosis in the Siberian and far Eastern Federal districts]. *Tuberkulez i bolezni legkikh* [Tuberculosis and lung disease], 2014, №5, pp. 16–20.
19. Mezentsева N.I., Evgushchenko G.V., Puzanov V.A., Popov S.A., Freyman G.E. Otsenka kachestva diagnostiki tuberkuleza metodami mikroskopii v RF za 2011–2014 gg. po rezul'tatam FSVOK [Estimation of quality of diagnostics of tuberculosis by methods of microscopy in the Russian Federation for 2011–2014 by results of FSVOK]. *Tuberkulez i bolezni legkikh* [Tuberculosis and lung disease], 2015, №6, pp. 96–97.
20. Ereemeva N.I., Vakhrusheva D.V. Effektivnost' vyyavleniya bol'nykh tuberkulezom s bakteriovydeleniem v kliniko-diagnosticheskikh laboratoriyakh uchrezhdeniy pervichnoy mediko-sanitarnoy pomoshchi Urala v 2010–2012 gg. [The efficiency of detection of tuberculosis with bacterial excretion in clinical diagnostic laboratories of the primary health-care Urals in 2010–2012]. *Tuberkulez i bolezni legkikh* [Tuberculosis and lung disease], 2015, №7, pp. 40–42.

21. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Koretskaya N.M., Soboleva V.O. Segmentatsiya mikroskopicheskikh izobrazheniy mokroty, okrashennoy po metodu Tsilya-Nil'sena, s ispol'zovaniem veyvlet-preobrazovaniya Mexican Hat [Segmentation of microscopic images of sputum stained by the method of Ziehl-Nielsen, using wavelet transform Mexican Hat]. *Acta Biomedica Scientifica* [Acta Biomedica Scientifica], 2017, Vol. 2, № 5, pp. 141–146.
22. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Koretskaya N.M. Parametrizatsiya ob'ektov na tsifrovyykh mikroskopicheskikh izobrazheniyakh mokroty, okrashennoy po metodu Tsilya-Nil'sena [Parameterization of objects on digital microscopic images of sputum stained by the method of Ziehl-Nielsen]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian medical review], 2017, № 5, pp. 53–59.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Наркевич Артем Николаевич, руководитель научно-исследовательской лаборатории медицинской кибернетики и управления в здравоохранении, кандидат медицинских наук
Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого
ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
narkevichart@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHOR

Narkevich Artem Nikolaevich, Head of the Research Laboratory of Medical Cybernetics and Management in Healthcare, Candidate of Medical Sciences
Krasnoyarsk State Medical University
1, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
narkevichart@gmail.com
SPIN-code: 9030-1493
ORCID: 0000-0002-1489-5058
ResearcherID: H-5830-2012
Scopus Author ID: 55810287600