

УДК 001.89

Лаборатория биоинформатики: 25 лет в науке и практике

Том Игорь Эдуардович

*заведующий лабораторией биоинформатики,
кандидат технических наук, доцент*

Введение. Лаборатория биоинформатики была создана приказом директора института В. С. Танаевым в 1999 г. В ее состав вошли И. Э. Том, О. В. Красько, Н. А. Новоселова, А. П. Сучкова и А. Н. Петрашко, до этого работавшие в лабораториях эргатических систем, возглавляемой д-ром техн. наук Г. Г. Маньшиным.

С момента своего создания лаборатория специализировалась в областях, связанных с понятием «биоинформатика», которое было сформулировано в 2000 г. в Меморандуме Национальных институтов здоровья США, подготовленном комитетом из ведущих специалистов под председательством профессора Michael Huerta: «биоинформатика – область знаний, занимающаяся исследованием, разработкой или применением вычислительных, программных средств и методов для расширения использования биологических, медицинских, психологических, эпидемиологических, гигиенических данных, включая приобретение, накопление, каталогизацию, хранение, анализ или визуализацию таких данных».

С момента образования и по настоящее время лабораторию возглавляет канд. техн. наук, доцент И. Э. Том. В лаборатории работают канд. техн. наук, доцент О. В. Красько, канд. техн. наук Н. А. Новоселова, Т. С. Кухта, А. Н. Петрашко, а также сотрудники сектора разработки программных систем для здравоохранения: Д. В. Голубцов (зав. сектором), А. В. Браницкий, А. А. Ермоленко, Е. А. Майстрова, А. И. Каркоцкая, В. В. Бродецкий, А. П. Козлов. В разные годы в лаборатории работали А. А. Назаренко, А. Н. Коваленко, Д. А. Бузановский, В. К. Якутик, Е. С. Свирид, Н. Р. Железная, А. Н. Казловский, Е. М. Мурашов, И. М. Нестерович, Р. В. Занько, В. В. Роубо, П. А. Густиневич, А. С. Король, К. И. Костюк. Практически все они продолжают свою трудовую деятельность в ИТ-компаниях ведущими программистами, архитекторами систем, руководителями проектов.

Основным направлением научной деятельности лаборатории в настоящее время является разработка и развитие моделей, методов обнаружения знаний в молекулярно-генетических, эпидемиологических, клинических, лабораторных данных медико-биологического профиля.

Основное направление прикладных работ – создание специального программного обеспечения эпидемиологических и клинических регистров различных заболеваний, информационно-аналитических систем, систем поддержки принятия решений, реализующих разработанные в лаборатории современные модели, методы анализа данных, алгоритмы машинного обучения для их использования в здравоохранении.

С 2004 г. лабораторию также привлекают к работам по космической тематике, а И. Э. Том постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 30.12.2008 № 688 назначен заместителем руководителя работ по созданию и развитию Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (далее БКСДЗ) по информационным космическим технологиям.

За период 1999–2024 гг. лабораторией выполнено более 70 договоров на НИР, НИОКР, ОКР и договоров на оказание услуг по сопровождению ранее созданных программных продуктов. С 2009 г. специалистами лаборатории самостоятельно или в кооперации были созданы 16 программных продуктов в интересах отечественного здравоохранения, которые внедрены более чем в 80 учреждениях здравоохранения Республики Беларусь. Основной программный продукт лаборатории по космической тематике – интегрированная информационная система «Гибридный банк данных (ГБД) БКСДЗ» – с октября 2018 г. в режиме 24/365 функционирует на программно-технических средствах национального оператора БКСДЗ. В Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь за ОИПИ НАН Беларуси зарегистрировано правообладание шестью программными продуктами, созданными специалистами

лаборатории. Краткое описание наиболее значимых программных продуктов и их авторские коллективы приведены в разделе «Основные вехи научно-технической деятельности лаборатории».

Наиболее значимые научные результаты:

1. Разработка и валидация математических моделей риска для интеллектуального функционального модуля прогнозирования отдаленных последствий лечения пациентов детского возраста со злокачественными новообразованиями. Автор О. В. Красько, 2022–2023 гг.

2. Методы и модели анализа биомедицинских данных и информационно-аналитические системы прогноза выживаемости и диагностики социально значимых заболеваний. Разработаны: оригинальные модели прогноза выживаемости пациентов при различных злокачественных новообразованиях, а также рецидивах и диссеминациях опухолей на основе предложенного метастатического индекса; модели классификации подтипов инфекционных заболеваний центральной нервной системы на основе метаболических показателей, позволяющих повысить точность диагностики; модели принятия решений по иммунофенотипической диагностике лейкозов и лимфом с учетом коэкспрессии маркеров; методы предварительной обработки и выделения признаков из разнородных биомедицинских данных; метод интеграции разнородных молекулярно-генетических данных для предсказания функций неизвестных генов; подход к кластеризации биомедицинских данных с активным выбором ограничений с целью выявления типов заболевания, связанных с конкретными клиническими показателями; гибридная модель классификации на основе ансамбля классификаторов, которая позволяет объединять несколько источников разнородных данных для повышения точности диагностики сложных заболеваний. Авторы: О. В. Красько, Н. А. Новоселова, 2018–2021 гг.

3. Метод построения ненаправленной генной регуляторной сети и оценка статистической значимости межгенных связей с использованием информационных критериев и технологии бутстрэппинга. Предложенный метод представляет собой ансамблевый подход к построению регуляторной биологической сети, а в его основе лежит процедура бутстрэппинга для генерации отдельных наборов данных генной экспрессии и последующего восстановления нескольких биологических сетей, которые агрегируют для получения конечного результата. Использование ансамблевого подхода для оценки связей сети позволяет учесть шум и выбросы в данных генной экспрессии и повысить точность реконструкции сетей за счет получения более точной оценки взаимной информации между генными профилями путем сокращения ее дисперсии. Авторы: Н. А. Новоселова, И. Э. Том, 2019 г.

4. Метод оценки метастатического потенциала злокачественных опухолей и математические модели прогноза распространенности опухолевого процесса, позволяющие прогнозировать вероятность обнаружения метастазов папиллярного рака щитовидной железы в латеральной группе лимфатических узлов по распространению карциномы в лимфатических узлах центральной группы с учетом метастатического индекса, который рассматривается как фактор риска. Автор О. В. Красько, 2016–2017 гг.

5. Метод интеграции молекулярно-генетических данных для предсказания функций неизвестных белков. Метод основан на слиянии разнородных данных путем построения ансамбля классификаторов, включая оценку информативности каждого члена ансамбля и возможность отбора наиболее оптимального его состава. Предложены унифицированный способ представления информации из различных источников данных и процедура учета иерархической организации базы функциональных категорий генов и генных продуктов (генная онтология) для формирования обучающего множества классификационной модели. Авторы: Н. А. Новоселова, И. Э. Том, 2016 г.

6. Алгоритм нечеткой кластеризации генетических данных с частичным управлением и активным отбором ограничений, в рамках которого получены аналитические выражения для параметров расширенной оптимизационной функции. Разработана процедура активного отбора ограничений, основанная на определении «виртуальной» границы кластеров и выборе ограничений для пар точек, попадающих в эту границу. Сравнительные испытания показали, что алгоритм позволяет повысить качество кластеризации данных при использовании меньшего количества ограничений. Авторы: Н. А. Новоселова, И. Э. Том, 2015 г.

Основные вехи научной и практической деятельности лаборатории

1999–2002 гг.

Лаборатория завершает проекты в интересах Минского автомобильного завода по автоматизации эргономического проектирования кабин автотранспортных средств. Были созданы и приняты для использования в управлении главного конструктора передовые для своего времени промышленные образцы программных систем «Манекен» (рис. 1) и «Экспертиза».

«Манекен» – система моделирования эргономических параметров транспортных средств на основе пространственного компьютерного манекена. Ее основу составляла разработанная скелетная и каркасная 3D модели параметрического манекена и программные процедуры его анимации. Система была предназначена для решения задач эргономического проектирования и виртуальных испытаний пространственной компоновки рабочего места водителя автомобиля. Она была оснащена интерфейсами для взаимодействия со специализированными САД-системами типа Unigraphics, Euclid, Autocad, а также с системой промышленного дизайна Alias и позволяла еще на стадии дизайнерской проработки в условиях отсутствия физических кабин в виртуальной среде анализировать комфортность будущего рабочего места водителя с точки зрения досягаемости органов управления, обзорности внешней среды и рекомендовать необходимые изменения пространственной компоновки.

«Экспертиза» – система оценки эргономичности кабин автотранспортных средств – обеспечивает ведение базы данных по эргономическим показателям (более 1200 единичных и комплексных) различных современных кабин автотранспортных средств, структуризацию показателей эргономичности для различных типов кабин и эргономическую экспертизу кабин на основе разработанного метода оценки качественных и количественных показателей с использованием лингвистических переменных.

Наибольший вклад в разработку и создание программных продуктов «Манекен» и «Экспертиза» внесли Н. А. Новоселова, И. Э. Том, О. В. Красько, А. Н. Коваленко.

2001–2007 гг.

В 2001 г. состоялось знаменательное для лаборатории событие, которое в значительной мере определило на последующие годы научный и практический векторы ее деятельности: совместно с Республиканским научно-практическим центром детской онкологии, гематологии и иммунологии (РНПЦ ДОГИ) Минздрава был выигран конкурс на получение гранта Международного научно-технического центра для выполнения проекта № В522 «Разработка компьютерной системы анализа прогностических факторов риска для выбора адекватной терапии острых лейкозов у детей» (2001–2005 гг.). Основная цель проекта – создание информационно-аналитической системы анализа динамики значимости прогностических факторов риска для обеспечения адекватного объема индуктивной терапии при лечении злокачественных заболеваний крови у детей для повышения выживаемости и качества жизни пациентов после лечения. Апробация созданной информационно-аналитической системы ProAPF состоялась в детской клинике Медицинского университета Ганновера (Германия), а непосредственное использование – в РНПЦ ДОГИ.

Основным результатом выполнения проекта № В522 в ИТ-области явилось создание ИАС ProAPF – информационно-аналитической системы сбора разнородной лабораторной, клинической и персональной информации о пациентах с лейкозами, каталогизации, хранения, поиска и выдачи данных по запросам, статистического и нейросетевого анализа данных с целью выбора адекватной терапии острых лейкозов у детей. Программный комплекс ProAPF в составе ИАС обеспечивал реализацию набора статистических и нейросетевых методов анализа многомерных медико-биологических данных с функциями понижения их размерности, отбора комбинаций наиболее значимых прогностических факторов (ПФ), верификации отобранных комбинаций ПФ, определения динамики ПФ в процессе терапии, идентификации группы риска пациента по его индивидуальному профилю ПФ, а также прогнозирование результативности терапии.

Наиболее значимый вклад в успешное выполнение проекта № В522 внесли наши коллеги из РНПЦ ДОГИ М. П. Потапнев (соруководитель проекта) и Т. А. Углова, а со стороны ОИПИ НАН Беларуси: И. Э. Том (соруководитель проекта), О. В. Красько, Н. А. Новоселова, Н. М. Скриган, Е. Е. Сотикова, Б. А. Залесский, А. П. Сучкова, А. Н. Петрашко.

25 февраля 2003 г. состоялась защита диссертационной работы О. В. Красько «Моделирование процедур тендерного отбора», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01, научный руководитель И. Э. Том.

В период с 2001 по 2007 гг. лабораторией выполняется ряд проектов в рамках различных государственных программ и грантов. К числу наиболее значимых из них можно отнести следующие:

грант № Т02Р-135 БРФФИ «Нечеткие и синергетические модели в разработке антропоморфных агентов и эволюционных мультиагентных систем» (2002–2004 гг.). Основные исполнители НИР: И. Э. Том, Н. А. Новоселова;

договор (совместно с лабораторией картографических систем и технологий) «Модернизация и развитие базовых и перспективных технологий для наземного сегмента Белорусской космической системы дистанционного зондирования» (2005–2007 гг.). В рамках договора специалистами лаборатории была создана АТС БДЦИМ – автоматизированная технологическая система формирования фондов цифровой информации о местности на основе данных дистанционного зондирования Земли, реализующая функции накопления, каталогизации, хранения, поиска, заказа и предоставления данных в специализированные информационные подсистемы БКСДЗ (рис. 2). Разработка системы готовилась к первому (неудачному) запуску белорусского спутника «БелКА». Основные архитекторы и исполнители проекта: Г. А. Христинич, Е. А. Сергеев, В. В. Роубо;

задания ПР1.1 и ПА2.1 НТП Союзного государства «Триада», задание 4.1.1–1 НТП Союзного государства «СКИФ-ГРИД» и задание 01.01 31 ГНТП «CALS-ERP-технологии». Ответственный исполнитель задания А. А. Назаренко.

4 марта 2008 г. состоялась защита диссертационной работы Н. А. Новоселовой «Алгоритмы построения гибридного нечеткого классификатора для анализа медицинских данных», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01, научный руководитель И. Э. Том.

2008–2015 гг.

В этот период продолжают работы по основному направлению деятельности лаборатории в интересах здравоохранения, а также по космической тематике. Всего выполнялось 25 НИР и НИОКР по заданиям ГНТП, гранта БРФФИ, ГПНИ и Национальной программы ускоренного развития услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий на 2011–2015 гг. Особо следует отметить следующие работы:

задание 5-02 «Разработать и внедрить информационную технологию диагностики врожденных иммунодефицитных состояний у детей на основе анализа клинических и лабораторных показателей» (2007–2009 гг.) в рамках ГНТП «Информационные технологии». Задание выполнялось совместно и в интересах РНПЦ ДОГИ. Результат выполнения: РМИС ImState-Diagnostics – республиканская многоуровневая информационная система поддержки принятия решения для диагностики первичных иммунодефицитных состояний у детей. Система предназначена для предварительной и углубленной диагностики врожденных иммунодефицитов с целью их типирования и выбора протокола лечения, а также занесения информации в регистр пациентов с иммунодефицитами. В соответствии с приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2009 г. № 1201 РМИС ImState-Diagnostics рекомендована к использованию на всех уровнях оказания медицинской помощи. Получены акты внедрения из 37 учреждений здравоохранения Беларуси. Основные исполнители задания: О. В. Красько, В. В. Роубо (рис. 3, а);

задание 5-09 «Разработать и внедрить в Республике Беларусь информационно-аналитическую систему лечебных мероприятий для больных коагулопатиями на основе регистра больных гемофилией» (2008–2011 гг.) в рамках ГНТП «Информационные технологии». Выполнялось совместно и в интересах РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий. Результат выполнения: ИАС РГ – республиканская информационно-аналитическая система ведения и функционирования регистра пациентов с коагулопатиями, расчета необходимого количества диагностических средств, заместительных препаратов. Основным пользователем системы является РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий, а также врачи-гематологи област-

ного и республиканского уровней оказания медицинской помощи. Основные исполнители задания: О. В. Красько, В. В. Роубо, Э. В. Дашкевич, И. Э. Том (рис. 3, б);

грант Ф10ЛАТ-015 БРФФИ «Разработка комплекса интеллектуальных методов и алгоритмов обработки и анализа медицинских и биологических данных для совершенствования диагностики онкологических заболеваний» (2010–2011 гг.). НИР выполнялась совместно со специалистами Рижского технического университета, Латвия. Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;

задание 4-02 «Разработать и внедрить республиканскую автоматизированную информационно-аналитическую систему посттрансфузионных осложнений на базе сервис-ориентированной архитектуры» (2011–2013 гг.) в рамках ГНТП «Информационные технологии». Выполнялось совместно и в интересах РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий. Результат выполнения: ИАС ПТО – республиканская информационно-аналитическая система посттрансфузионных осложнений. Предназначена для снижения рисков осложнений, оперативного учета осложнений в подразделениях службы переливания крови, повышения качества лечения за счет разработки протоколов заместительной терапии и внедрения в учреждениях здравоохранения Республики Беларусь. Основным пользователем системы является РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий, а также специализированные подразделения службы переливания крови Беларуси. Основные исполнители задания: О. В. Красько, Е. А. Мурашов, А. Н. Казловский (рис. 3, в);

задание 4-03 «Разработать и внедрить систему поддержки принятия решений для дифференциальной иммунофенотипической диагностики лейкозов и лимфом» (2011–2014 гг.) в рамках ГНТП «Информационные технологии». Выполнялось совместно и в интересах РНПЦ ДОГИ. Результат выполнения: СППР Dif-L – система поддержки принятия решения для дифференциальной иммунофенотипической диагностики лейкозов и лимфом. Система обеспечивает точность диагностики основных типов лейкозов 99,2 %, а подтипов лейкозов – до 88,3 %. Основным пользователем СППР является РНПЦ ДОГИ. Кроме того, получены акты внедрения из 25 учреждений здравоохранения Беларуси. Основные исполнители задания: Н. А. Новоселова, И. Э. Том, О. В. Красько (рис. 3, г);

задание 1.1.01 «Модели, методы и алгоритмы обработки, анализа и распознавания биомедицинских данных и изображений и разработка на их базе информационных систем нового поколения» (2011–2013 гг.), включая подзадание лаборатории «Методы предобработки и обнаружения зависимостей в биомедицинских (генетических) данных», в рамках ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», подпрограмма «Научные основы информационных технологий». Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;

мероприятие 53 «Разработка и внедрение республиканского эпидемиологического регистра пациентов с гематологическими заболеваниями для мониторинга и анализа уровня медицинской помощи населению» (2013–2015 гг.) в рамках Национальной программы ускоренного развития услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий на 2011–2015 гг. Результат выполнения: ИАС РЭРГЗ – информационно-аналитическая система «Республиканский эпидемиологический регистр пациентов с гематологическими заболеваниями». Основным пользователем системы является Республиканский центр гематологии и пересадки костного мозга на базе МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии. Основные исполнители мероприятия: И. Э. Том, О. В. Красько, В. В. Роубо, Е. М. Мурашов, Н. И. Прокопович, А. Н. Казловский, А. Н. Петрашко (рис. 3, д);

мероприятие 57 «Разработка и внедрение информационно-аналитической системы по планированию и контролю централизованных конкурсных закупок лекарственных средств для организаций здравоохранения Республики Беларусь» (2014–2015 гг.) в рамках Национальной программы ускоренного развития услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий на 2011–2015 гг. Результат выполнения: ИАС «Лекарственное обеспечение» – информационно-аналитическая система планирования, контроля централизованных государственных закупок лекарственных средств для организаций здравоохранения Республики Беларусь. Основные ис-

полнители: О. В. Красько, В. В. Роубо, Т. С. Кухта, А. Н. Казловский, К. И. Костюк, А. Н. Петрашко (рис. 3, *e*);

мероприятие 1.2 (совместно с лабораторией информационно-аналитических систем) «Разработать на основе сервис-ориентированной архитектуры и внедрить автоматизированную систему управления гибридным банком данных космической информации от орбитальной группировки российских и белорусских космических аппаратов» (2013–2017 гг.) в рамках НТП Союзного государства «Мониторинг-СГ». Результат выполнения: АСУ ГБД – автоматизированная система управления гибридным банком данных космической информации от орбитальной группировки российских и белорусских космических аппаратов. Основное назначение системы: формирование и ведение единого каталога информации дистанционного зондирования Земли и продуктов ее обработки, обеспечение поиска и предоставление информации внутри производственной сети наземного сегмента БКСДЗ. Мероприятие выполнялось в интересах национального оператора БКСДЗ. Основные исполнители: И. Э. Том, В. А. Лапицкий, В. В. Роубо, Е. А. Мурашов, Т. С. Кухта, А. Н. Казловский, К. И. Костюк, Е. А. Сергеев, В. В. Кириченко, Р. В. Занько, А. Н. Петрашко, Н. И. Прокопович, А. В. Браницкий;

задание 8.1.03 «Методы и алгоритмы анализа и распознавания биомолекулярных данных, медицинских сигналов, изображений и разработка на их базе распределенных медицинских информационно-аналитических систем» (2014–2015 гг.), включая подзадание лаборатории «Метод построения функциональных модулей генетических данных и алгоритм нечеткой кластеризации с частичным обучением», в рамках ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», подпрограмма «Научные основы информационных технологий». Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;

договор «Разработать программное обеспечение информационно-аналитической системы «HLA-типированные доноры Республики Беларусь для трансплантации гемопоэтических стволовых клеток» (2014–2017 гг., развитие в 2021–2023 гг.) в рамках задания 04.17 ГНТП «Новые технологии диагностики, лечения и профилактики», подпрограмма «Трансплантология и регенеративная медицина». Задание выполнялось в интересах РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий и Республиканского центра гематологии и пересадки костного мозга на базе МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии. Результат выполнения: ИАС HLA – информационно-аналитическая система сбора, накопления, обработки и предоставления информации, связанной с учетом и подбором HLA типированных доноров для трансплантации стволовых клеток. Основные исполнители: О. В. Красько, В. В. Роубо, Е. А. Мурашов, А. Н. Казловский, К. И. Костюк, Е. А. Майстрова, А. В. Браницкий, А. И. Каркоцкая (рис. 3, *ж*). 2016–2024 гг.

В этот период выполнялось 40 проектов НИР, НИОКР, ОКР и договоров на сопровождение ранее созданных программных продуктов. Среди наиболее значимых из них:

задание 1.5.02 «Модели, методы, алгоритмы интеллектуальной обработки и анализа молекулярно-генетических, клинических, лабораторных данных, изображений, речевой информации и разработка на их основе прототипов информационных технологий и систем в интересах отечественного здравоохранения» (2016–2018 гг.), включая подзадание лаборатории «Методы и алгоритмы предсказания функций белков на основе интеграции из множественных источников разнородных молекулярно-генетических данных с различной структурной организацией», в рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Информатика». Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;

договор «Создание единой системы учета лиц, потребляющих наркотические средства, психотропные вещества, их аналоги» (2016 г.) в рамках государственной программы «Здоровье народа и демографическая безопасность Беларуси на 2016–2020 годы». Результат выполнения договора: ИС РПНС – информационная система «Регистр лиц, потребляющих наркотические средства». Система обеспечивает сбор, накопление и предоставления информации о лицах, потребляющих наркотические средства, психотропные вещества и их аналоги. Основной потребитель системы – РНПЦ психического здоровья, а также областные, городские, районные и межрайонные наркологические, психиатрические, психоневрологические диспансеры. Основ-

ные исполнители: К. И. Костюк, Е. А. Сергеев, В. В. Кириченко, Е. А. Мурашов, В. В. Рубо, А. Н. Казловский, А. В. Браницкий, Н. И. Прокопович (рис. 3, и);

мероприятие 21 (совместно с лабораторией информационно-аналитических систем) «Создание полномасштабной системы обращения электронных рецептов в Республике Беларусь с использованием электронной цифровой подписи» (2016–2018 гг.) государственной программы развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 гг., подпрограмма 3 «Цифровая трансформация». Мероприятие выполнялось совместно с РНПЦ медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения и НИИ технической защиты информации. Результат выполнения (вклад ОИПИ НАН Беларуси): АИС «Электронный рецепт» – специальное программное обеспечение автоматизированной информационной системы обращения электронных рецептов в Республике Беларусь. Впервые в Беларуси была реализована информационная технология обмена медицинскими данными между медицинскими, фармацевтическими информационными системами и Общегосударственной автоматизированной информационной системой на базе международного стандарта HL7 FHIR. На 1 января 2022 г. к АИС «Электронный рецепт» были подключены 633 учреждения здравоохранения, 1276 коммерческих и 1864 государственные аптеки. Ежегодно выписывается более 10 млн электронных рецептов. Основные исполнители: В. А. Лапицкий, И. Э. Том, Е. А. Сергеев, В. В. Рубо, В. В. Кириченко, Е. А. Мурашов, А. Н. Казловский, А. В. Браницкий, Ю. В. Свирко, К. И. Костюк, Р. В. Занько, А. А. Матусевич, Т. С. Кухта, Н. И. Прокопович, И. М. Нестерович, А. Н. Петрашко (рис. 4);

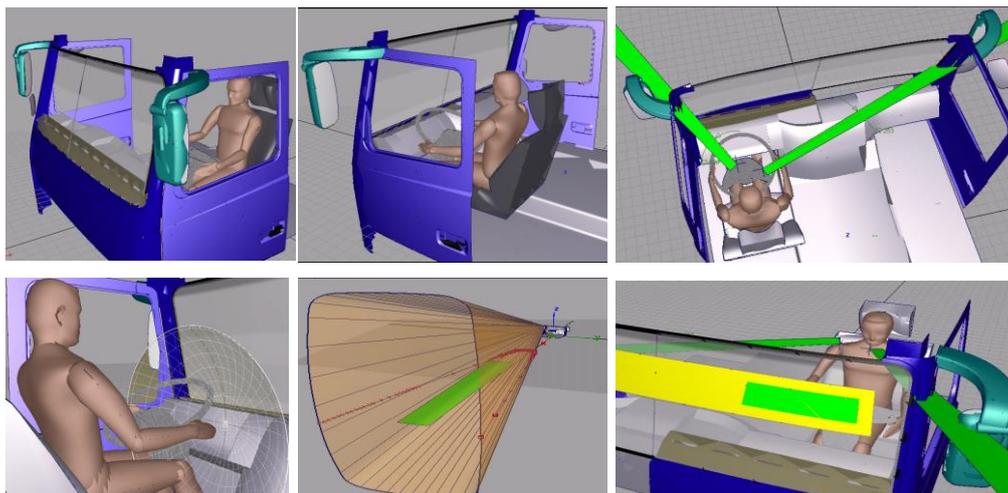


Рис. 1. Результаты моделирования и оценки эргономических параметров досягаемости и обзорности элементов кабины с использованием системы «Манекен»

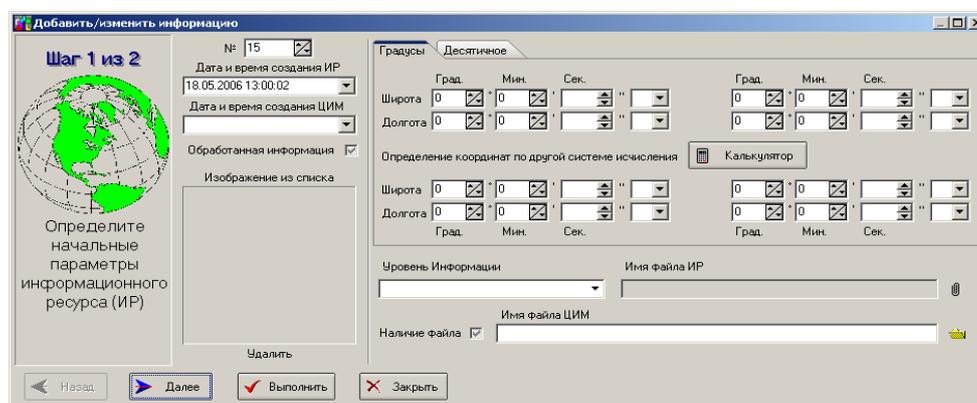
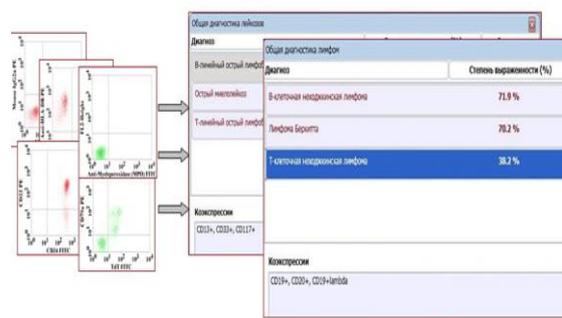
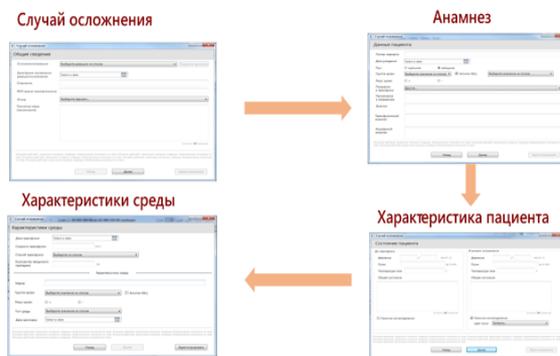


Рис. 2. Экранная форма интерфейса АТС БДЦИМ



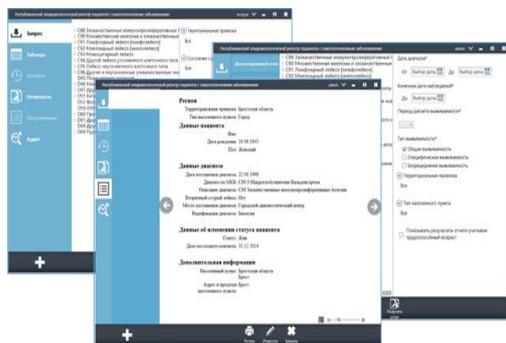
а)

б)



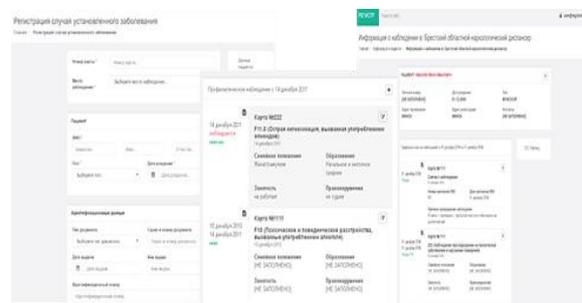
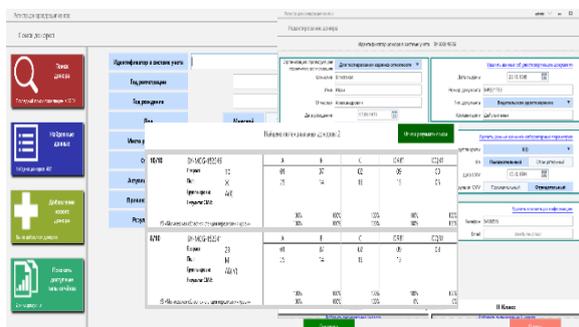
в)

г)



д)

е)



ж)

з)

Рис. 3. Итерфейсы программных продуктов, созданных в 2009–2017 гг.



Рис. 4. Структурная схема АИС «Электронный рецепт»

задание 2-01 «Разработать модели прогноза, создать и внедрить интеллектуальную систему прогнозирования рисков ранних и поздних рецидивов детских острых лейкозов для своевременной коррекции терапии» (2016–2018 гг.) ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии». Задание выполнялось совместно и в интересах РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии. Результат выполнения: ИСПР – интеллектуальная система прогнозирования рисков ранних и поздних рецидивов детских острых лейкозов. Прогнозирование основано на многомерном анализе клинических, генетических, иммунофенотипических данных с использованием моделей пропорциональных рисков Кокса, динамических и конкурирующих рисков. Основные исполнители: О. В. Красько, А. А. Рябцева, Т. С. Кухта (рис. 5, а);

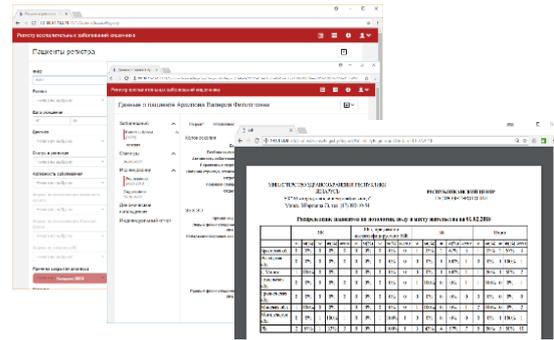
договор «Разработка программного обеспечения клинического регистра пациентов с гастроэнтерологическими заболеваниями» (2017–2018 гг.). Проект выполнялся по заказу УЗ «10-я ГКБ» Минска. Результат выполнения: ИС РГЭЗ – информационная система клинического регистра пациентов с гастроэнтерологическими заболеваниями. Система обеспечивает сбор, накопление и предоставление стандартизованной структурированной информации, связанной с учетом, диагностикой и лечением пациентов с гастроэнтерологическими заболеваниями (язвенный колит, болезнь Крона). Основные исполнители: К. И. Костюк, Е. А. Мурашов, А. В. Браницкий, Р. В. Занько, И. М. Нестерович (рис. 5, б);

договор «Разработка программного обеспечения «Регистр детей, нуждающихся в паллиативной помощи, и планирования услуг паллиативной помощи» (2018 г.). Договор выполнялся по заказу Республиканского клинического центра паллиативной медицинской помощи детям. Результат выполнения: ИС «Регистр паллиативной помощи» – информационная система «Регистр детей, нуждающихся в паллиативной помощи, и планирования услуг паллиативной помощи». Система обеспечивает сбор, накопление и предоставление структурированной информации, связанной с учетом и перемещением детей, оказанием услуг паллиативной помощи. Основные исполнители: О. В. Красько, В. В. Роубо, К. И. Костюк, А. В. Браницкий, Н. И. Прокопович (рис. 5, в);

задание 1.5.06 «Модели, методы, алгоритмы интеллектуальной обработки, анализа и распознавания медико-биологических данных, изображений, речевой информации и разработка на их основе прототипов информационных систем медицинского назначения» (2019–2020 гг.), включая подзадание лаборатории «Разработка методов и алгоритмов построения функциональных регуляторных сетей на основе данных экспрессии генов, позволяющих отбирать наиболее информативные гены, учитывать диагностическую информацию для оценки статистической значимости межгеновых связей и строить иерархию топологий сетей», в рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Информатика». Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;



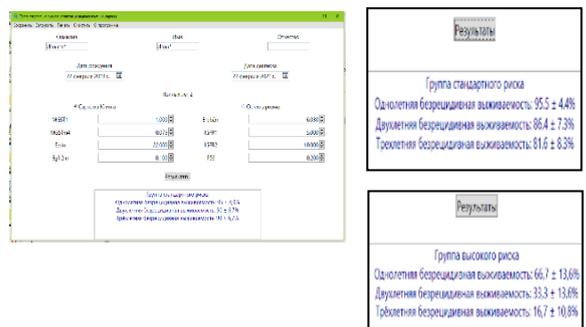
а)



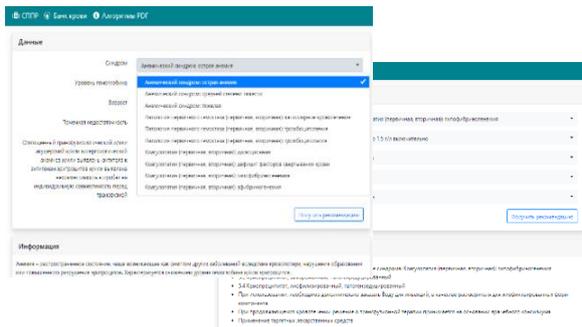
б)



в)



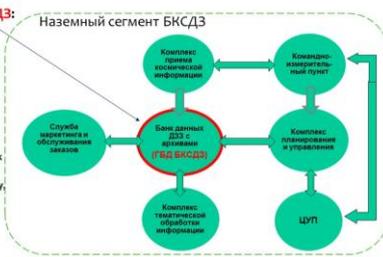
г)



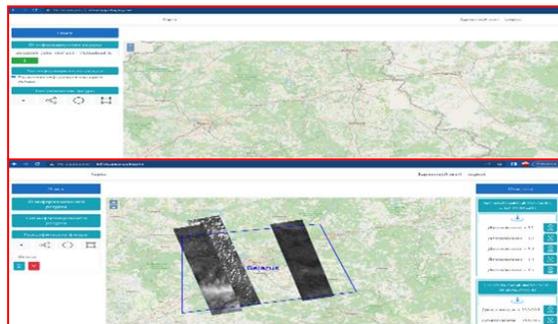
д)

Основные функции ГБД БКСДЗ:

- формирование и ведение единого информационного ресурса в виде гибридного банка данных (ГБД) многоуровневого дистанционного зондирования Земли космическими, авиационными, наземными средствами, а также продуктов тематической обработки
- управление ресурсными файлами, оперативными и долгосрочными архивами, статусами типов ресурсных файлов
- обеспечение единого входа в систему, администрирование и управление пользователями
- обработка заявок на получение информации из ГБД, подготовка и выдача данных ДЗЗ

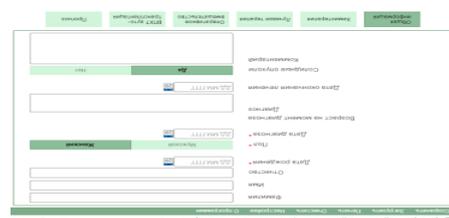


е)



ж)

Главное окно ИФМ ПОПД



Прогноз

Фамилия Имя Отчество: Иванов Петр Сергеевич

Пол: Мужской

Дата рождения: 01.02.2010

Диагноз: Острый пиллобастый лейкоз(C91.0)

Дата диагноза: 01.06.2022

	E00-E90	I00-I99	J00-J99	K00-K93	L00-L99	M00-M99	N00-N99	O00-O99	P00-P99	Q00-Q99	R00-R99	S00-S99	T00-T99	U00-U99	V00-V99	W00-W99	X00-X99	Y00-Y99	Z00-Z99
Вероятность наступления отдаленного события для пациента, %	85,5	2,2	78,1	45,1	21,6	0,4	19,3	4,2	2,7										
Полученная вероятность, %	7	21,6	1,7	5,7	3,3	5,4	1	3,5	3,2										

з)

Рис. 5. Экранные формы интерфейсов программных продуктов, созданных в 2018–2023 гг.

задание 2-03 «Разработать модели прогноза рецидивов костных сарком с учетом экспрессии молекулярных маркеров в опухолевой ткани и внедрить интеллектуальный функциональный модуль прогнозирования рисков развития рецидивов» (2019–2020 гг.) в рамках ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии». Задание выполнялось совместно и в интересах РНПЦ ДОГИ. Результат выполнения: ИФМ ПРКС – интеллектуальный функциональный модуль прогнозирования рисков развития рецидивов костных сарком у детей и молодых взрослых с учетом экспрессии молекулярных маркеров в опухолевой ткани. Основные исполнители: О. В. Красько, А. П. Козлов, Н. И. Прокопович (рис. 5, з);

договор «Разработка и создание программного комплекса „Гибридный банк данных цифровой информации о местности“ в составе резервного банка данных дистанционного зондирования Земли Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь» (2017–2020 гг.) в рамках мероприятия 1 раздела 1 подпрограммы 7 государственной программы «Научно-технологические и техника» на 2016–2020 гг. Результат выполнения: ПК ГБД ЦИМ – программный комплекс «Гибридный банк данных цифровой информации о местности». Основным назначением ПК ГБД ЦИМ является обеспечение оперативного получения из БКСДЗ первичной информации маршрутов съемки высокого и сверхвысокого разрешения, ее накопления и хранения, формирование банка данных ДЗЗ, получаемых космическими, авиационными и наземными средствами ДЗЗ. Основные исполнители: В. В. Рубо, Е. А. Мурашов, Р. В. Занько, А. Н. Казловский, А. В. Браницкий, К. И. Костюк, Н. И. Прокопович, А. Н. Петрашко;

грант № Ф19УКРГ-00 БРФФИ «Разработка методов, алгоритмов и интеллектуальной аналитической системы для обработки и анализа разнородных клинических и биомедицинских данных с целью совершенствования диагностики сложных заболеваний» (2019–2020 гг.). НИР выполнялась совместно с Институтом кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины. Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, В. Ю. Скобцов;

задание 2-04 «Разработать и внедрить систему поддержки принятия решений (СППР) для определения тактики в клинической трансфузиологии на базе стандарта FHIR обмена медицинскими данными» (2016–2020 гг.) в рамках ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии». Выполнялось совместно и в интересах РНПЦ трансфузиологии и медицинских биотехнологий. Результат выполнения: СППР ТКТ – система поддержки принятия решений для определения тактики в клинической трансфузиологии. СППР предназначена для оказания помощи врачам при экстренных ситуациях и отсутствии врача-трансфузиолога в определении тактики персонализированной трансфузиологической помощи с учетом трансфузионных синдромов и таксономических критериев, в том числе в принятии решения о выборе совместимой трансфузионной среды пары «донор – реципиент» по антигенам систем АВО, Резус и Келл. Основные исполнители проекта: О. В. Красько, К. И. Костюк, А. В. Браницкий, Н. И. Прокопович (рис. 5, д);

проект (инициативный) «Разработка и создание программного обеспечения интегрированной информационной системы „Гибридный банк данных Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли“» (2018 г.) в интересах УП «Геоинформационные системы» для включения в состав наземного сегмента БКСДЗ. Результат выполнения: ГБД БКСДЗ – интегрированная информационная система «Гибридный банк данных БКСДЗ», включающая систему управления гибридным банком данных ДЗЗ, комплекс управления архивами данных ДЗЗ, комплекс обеспечения единого входа в систему и администрирования, комплекс для подготовки и выдачи данных ДЗЗ, комплекс для обеспечения маршрутизации данных ДЗЗ. С конца 2018 г. система на постоянной основе функционирует в УП «Геоинформационные системы». Основные исполнители: В. В. Рубо, Е. А. Мурашов, Р. В. Занько, А. Н. Казловский, А. В. Браницкий, Н. И. Прокопович, А. Н. Петрашко (рис. 5, е);

договор (совместно с лабораторией картографических систем и технологий) «Разработка технологии и экспериментального образца программно-информационного комплекса взаимодействия и гармонизации разнородных архивов цифровых изображений местности, включающего базу данных цифровой информации о местности (цифровые карты, фотодокументы и другие производные продукты на основе данных ДЗЗ), базу метаданных космических снимков, приложения выдачи пространственной информации по запросам потребителей» (2020–2023 гг.)

в рамках мероприятия 3 НТП Союзного государства «Интеграция-СГ». Результат выполнения: ПИК ВГА – экспериментальный образец программно-информационного комплекса взаимодействия и гармонизации внутриведомственных архивов цифровой информации о местности и архивов данных космической съемки. Основные исполнители договора от лаборатории: И. Э. Том, А. В. Браницкий, К. И. Костюк, В. В. Бродецкий, А. И. Каркоцкая, А. Н. Петрашко, Т. С. Кухта (рис. 5, ж);

задание 1.1.3 «Модели, методы, алгоритмы и программные средства интеллектуальной обработки, анализа и распознавания медико-биологических данных, изображений, речевой и текстовой информации и разработка на их основе информационных технологий и систем медицинского и социального назначения» (2021–2025 гг.), включая подзадание лаборатории «Разработка интегрированных подходов для идентификации и приоритизации генов, выделения функциональных подсетей, связанных с фенотипами сложных заболеваний на основе биологических сетей белок-белковых и функциональных взаимодействий» ГПНИ «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 гг., подпрограмма «Цифровые технологии и космическая информатика». Основные исполнители НИР: Н. А. Новоселова, И. Э. Том;

задание 01.21 «Разработать и внедрить метод подбора пар донор-реципиент с учетом редких антигенов системы HLA» (2021–2023 гг.) ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», подпрограмма «Клеточная терапия и высокотехнологичные методы замещения поврежденных органов и тканей». Задание выполнялось совместно и в интересах МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии. Результат выполнения: программное обеспечение субрегистрa реципиентов, интегрированное в информационно-аналитическую систему HLA для использования в составе «Центрального реестра доноров ГСК» Республиканского центра гематологии и пересадки костного мозга на базе МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии. Назначение разработанного программного обеспечения: автоматизация метода подбора пар донор-реципиент с учетом редких антигенов системы HLA, реализующего новый алгоритм поиска донора, метода определения генетического профиля клеток доноров и реципиентов и расширение реестра доноров гемопоэтических стволовых клеток с привлечением новых контингентов лиц. Основные исполнители: О. В. Красько, К. И. Костюк, А. В. Браницкий, Е. А. Майстрова, Н. И. Прокопович, А. Н. Петрашко;

грант БРФФИ № Ф21АРМ-010 «Разработка методов выделения комплексных биомаркеров и классификации фенотипов онкологических заболеваний с использованием биологических сетей и данных высокопроизводительных технологий» (2021–2023 гг.). НИР выполнялась совместно с Институтом молекулярной биологии НАН Армении. Основные исполнители: Н. А. Новоселова, И. Э. Том, Т. С. Кухта;

задание 1 «Разработать и внедрить программное обеспечение прогноза отдаленных последствий лечения пациентов детского возраста со злокачественными новообразованиями на основе построения математических моделей риска» (2021–2023 гг.) ГНТП «Цифровые технологии и роботизированные комплексы», подпрограмма «Цифровые технологии в промышленности, социальной сфере и государственном управлении». Задание выполнялось совместно и в интересах РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии. Результат выполнения: ИФМ ПОПЛ – интеллектуальный функциональный модуль прогнозирования отдаленных последствий лечения пациентов детского возраста со злокачественными новообразованиями. Валидированные математические модели риска и соответствующее программное обеспечение должны обеспечивать своевременное предупреждение развития нежелательных явлений за счет оптимизации противоопухолевого лечения, повышение качества жизни пациентов за счет применения доработанной нормативной документации по диспансеризации населения. Основные исполнители: О. В. Красько, Е. А. Майстрова, А. И. Каркоцкая (рис. 5, и).

С января 2024 г. коллектив лаборатории в большой и дружной команде программистов, бизнес-аналитиков, QA- и PM-специалистов работает над созданием специального программного обеспечения медицинских подсистем в составе централизованной информационной системы здравоохранения Республики Беларусь, которая должна, наконец, воплотить мечту о едином

информационном пространстве здравоохранения, когда данные будут «ходить» за пациентом, а не наоборот, и электронное здравоохранение в полной мере станет реальностью для врачей и пациентов.

Заключение. Рациональное сочетание научной деятельности по разработке новых или развитию известных методов анализа разнородных медико-биологических данных и работ по выполнению наукоемких прикладных проектов по созданию программного обеспечения информационных систем для здравоохранения и других отраслей, непрерывный процесс обучения и профессионального совершенствования сотрудников, взаимное уважение ветеранов лаборатории и молодежи – это базовые принципы, которые обеспечивают развитие лаборатории и, что очень важно, удовлетворение сотрудников результатами своей работы.

Награды и победы в конкурсах. С циклом работ «Методы, модели анализа биомедицинских данных и информационно-аналитические системы прогноза выживаемости и диагностики социально значимых заболеваний» Н. А. Новоселова и О. В. Красько стали победителями конкурса 2021 г. на соискание премии Национальной академии наук Беларуси в области информационных технологий.

И. Э. Том в 2015 г. награжден Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь «За шматгадовую плённую навуковую дзейнасць, значны асабісты ўклад у развіццё актуальных напрамкаў біяінфарматыкі, распрацоўку і ўкараненне ў медыцынскую практыку сучасных інфармацыйных тэхналогій для дыягностыкі і лячэння захворванняў».

О. В. Красько в 2014 г. получила результат «Математические модели выявления морфологических особенностей папиллярного рака щитовидной железы (ПРЩЖ), определяющих инвазивный и метастатический потенциал опухоли у детей и подростков в Республике Беларусь, разработанные на основании ретроспективного клинико-морфологического анализа ПРЩЖ у детей и подростков, возникновение которого ассоциировано с „йодным ударом“, полученным пациентами в первые месяцы после аварии на Чернобыльской АЭС», который вошел в топ-10 лучших научных результатов НАН Беларуси за 2014 г.

В 2010 г. О. В. Красько и В. В. Роубо с проектом «Республиканская многоуровневая информационная система и технология диагностики врожденных иммунодефицитных состояний у детей» стали лауреатами премии НАН Беларуси в номинации «Лучший инновационный проект» в области естественных наук.

Специалисты лаборатории регулярно становились победителями конкурсов ОИПИ НАН Беларуси в номинациях «Лучший научный результат» (2014–2017, 2019, 2020, 2022), «Лучший научный результат прикладного характера» (2023), «Лучший результат практического использования (внедрения) научных результатов и (или) научно-технических разработок» (2018, 2021).

Публикации

С 2010 г. специалистами лаборатории опубликовано: 4 монографии (2011–2022 гг.); 6 глав в монографиях; 198 научных статей в периодических рецензируемых журналах; 33 доклада на научных конференциях; 42 тезиса докладов на научных конференциях.

К числу наиболее значимых публикаций можно отнести следующие:

1. Ревтович, М. Ю. Местнораспространенный рак желудка: современные направления радикального лечения и прогнозирование отдаленных результатов : монография / М. Ю. Ревтович, О. В. Красько. – Минск : БелМАПО, 2022. – 217 с.

2. Романова, А. П. Модели динамики смертности населения Беларуси на рубеже XX-XXI вв. / А. П. Романова, О. В. Красько. – Минск : БелМАПО, 2020. – 660 с.

3. Красько, О. В. Статистический анализ данных в медицинских исследованиях : в 2 ч. / О. В. Красько. – Минск : Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова, 2013. – Ч. 1. – 126 с.

4. Том, И. Э. Методы интеллектуального анализа многомерных данных для решения задач классификации / И. Э. Том, Н. А. Новоселова, О. В. Красько. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2011. – 236 с.

5. Novoselova, N. Prediction of cancer driver genes using a deep convolutional network / N. Novoselova, I. Tom // Information Technology and Management Science. – 2023. – Vol. 26. – P. 10–16. – DOI: 10.7250/itms-2023-0002.

6. Красько, О. В. Оценка размера эффекта воздействия в квазиэкспериментальных исследованиях / О. В. Красько // Информатика. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 27–39.
7. Novoselova, N. Hybrid classification model for biomedical data analysis / N. Novoselova, I. Tom // Information Technology and Management Science. – 2022. – Vol. 25. – P. 16–23. – DOI: 10.7250/itms-2022-0003.
8. Second primary malignancies in patients with papillary thyroid carcinoma after effect of post-chernobyl irradiation: A risk analysis of more than two decades of observations / M. Fridman, O. Krasko, L. Levin [et al.] // Cancer Epidemiology. – 2021. – Vol. 70. – P. 101860. – DOI: 10.1016/j.canep.2020.101860. (IF= 2.179)
9. Discovery of *Leptospira* spp. seroreactive peptides using ORFeome phage display / S. R. Ramli, G. M. S. G. Moreira, J. Zantow [et al.] // PLoS Neglected Tropical Diseases. – 2019. – Vol. 13, no. 1. – P. 1–18. – DOI: 10.1371/journal.pntd.0007131. (IF=4.487)
10. Identification of cerebrospinal fluid metabolites as biomarkers for enterovirus meningitis / D. Ratuszny, K.-W. Sühs, N. Novoselova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – Vol. 20, no. 2. – P. 1–13. – DOI: 10.3390/ijms20020337. (IF=4.183)
11. Factors affecting the approaches and complications of surgery in childhood papillary thyroid carcinomas / M. Fridman, O. Krasko, D. I. Branovan [et al.] // European Journal of Surgical Oncology. – 2019. – Vol. 45, iss. 11. – P. 2078–2085. – DOI: 10.1016/j.ejso.2019.07.032. (IF=3.379)
12. Лапицкий, В. А. Электронное здравоохранение Беларуси: состояние и перспективы / В. А. Лапицкий, И. Э. Том // Информатика. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 63–71.