

установление корреляционно - статистических взаимосвязей цитогенетического статуса индивидуума с общим состоянием организма и экологией территорий проживания.

Комплексы «Хромосома» и «Хромосома – FISH» сертифицированы и разрешены к применению в медицинской практике Министерством здравоохранения Республики Беларусь [6], удостоены Золотой медали на Санкт – Петербургской выставке – конгрессе в 2016 году. На базе шести комплексов «Хромосома», «Хромосома-FISCH» создана сеть компьютерного цитогенетического мониторинга в Республике Беларусь.

#### Заключение

Созданные компьютерные цитогенетические комплексы «Хромосома» позволяют осуществлять массовый цитогенетический мониторинг населения на популяционном уровне, оперативно верифицировать индивидуальные и коллективные дозы лучевых нагрузок, выявлять генотоксичные территории и проследить территориально - временную динамику цитогенетических изменений, обнаруживать появление клонов клеток с хромосомными aberrациями – маркерами возможной опухолевой трансформации, выявлять категории населения цитогенетического и онкологического рисков, прогнозировать возможные отдаленные медико-генетические последствия хронического воздействия малых доз радиации и антропогенных канцерогенных факторов на организм человека в пост-чернобыльский период.

#### Список литературы

1. Мельнов С.Б., Иванов В.И., Семерихина С.Е. и др. // Достижения медицинской науки Беларусь. 2003. №8. С.16-18.
2. Bonassi S., Hagmar L., Strömberg U. et al. // Cancer Res. 2000. Vol.60. P.1619-1625.
3. Hagmar L., Brogger A., Hansteen I.-L. et al. // Cancer Res. 1994. Vol.54. P.2919-2922.
4. Иванов В.И., Лазарчик А.Н. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. под ред. В.Г.Барышевского. Минск. БГУ. 2009. С. 379-391.
5. Иванов В.И., Иванов Н.И., Лазарчик А.Н. // Инновационные технологии в медицине. ГКНТ Республики Беларусь. Минск. 2015. С. 37.
6. Комплекс для компьютерной морфометрической, цитогенетической и FISH - диагностики «Хромосома». Регистрационное удостоверение Минздрава РБ № ИМ-7.971,59.
7. Хроменкова О.Б. Морфология хромосом. Кариотип человека. Харьков. ХНГМУ.2012. 16с.
8. Bauchinger M., Schmid E., Zitzelsberger Y. et al. // Int. J. Radiat. Biol. 1993. Vol.64. P.179-184.
9. Lucas J.N., Sach R.K. //Cell. Biologi. 1993. Vol. 90. P.1484-1487.

УДК 551.583

## НОВЫЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА

С.А. ЛЫСЕНКО, С.Л. ОЩЕПКОВ

*Институт природопользования НАН Беларуси,  
ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Описываются разработанные авторами аэрокосмические методы исследования атмосферы, гидросферы и биосферы, включая мониторинг аэрозольно-газовых примесей атмосферы, биоклиматических параметров наземных экосистем (широкополосного альbedo, листового индекса, проективного покрытия, температуры, излучательной способности, эффективности поглощения фотосинтетически активной радиации и т. д.), составляющих энергетического баланса подстилающей поверхности, аэрозольного радиационного форсинга, содержания фитопланктона, взвесей и растворенных органических веществ в водоемах.

*Ключевые слова:* экология, климат, биоклиматические параметры, аэрозоль, атмосферная радиация.

**Abstract.** We have developed new retrieval methods for studying the atmosphere, hydrosphere and biosphere, using space-born monitoring of atmospheric aerosol and gas components, bioclimatic parameters of the terrestrial ecosystems (broadband albedo, sheet index, projective cover, temperature, emissivity, absorption efficiency of photo synthetically active radiation, etc.), components of the energy balance of the ground surface, aerosol radiation forcing, phytoplankton content, suspended solids and dissolved organic matter in water bodies.

*Keywords:* ecology, climate, bioclimatic parameters, aerosol, atmospheric radiation..

#### Введение

Для выработки эффективных мер по снижению негативных последствий изменений климата и адаптации к ним погодозависимых отраслей экономики любого государства необходимо детальное изучение его климатических ресурсов и заблаговременное предоставление информации об ожидаемых климатических условиях на его территории. В этой связи повышенные требования

предъявляются к качеству данных, используемых для настройки и верификации современных климатических моделей, в том числе данных наземного и спутникового мониторинга аэрозольно-газовых компонентов атмосферы, биоклиматических параметров и энергетического баланса подстилающей поверхности.

В статье приводится обзор разработанных авторами методов, алгоритмов и компьютерных моделей для решения прямых и обратных задач по переносу излучения в рассеивающих средах (атмосфера, водоемы, почва, растительные покровы) и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли. Разработанные методы позволяют оперативно обрабатывать многоспектральные спутниковые изображения и восстанавливать карты распределений комплекса параметров атмосферы и подстилающей поверхности. По этим данным рассчитываются составляющие радиационного и теплового баланса подстилающей поверхности, а также радиационные форсинги аэрозоля и парниковых газов.

#### **Дистанционное зондирование аэрозольно-газовых примесей атмосферы**

Известно, что аэрозоль и водяной пар (ВП) существенным образом влияют на радиационный и тепловой режим атмосферы с подстилающей поверхностью, формирование облаков и их свойства. Эти факторы в значительной мере обуславливают региональный климат городов и повторяемость таких опасных погодных явлений как грозы, град, туман, ливни и др. В то же время, понимание процессов влияния аэрозоля и ВП на климат является недостаточным и требует основательных исследований. Главным инструментарием таких исследований должны стать дистанционные методы (лидарные, спутниковые), позволяющие получать карты распределений аэрозолей и ВП.

Одним из новейших приборов, предназначенных для получения такого рода информации, является радиометр OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) на борту европейского спутника Sentinel-3 (запущен 16.01.2016). OLCI состоит из пяти 14-разрядных ПЗС-камер, получающих изображения Земли в 21 спектральном канале с центральными длинами волн от 400 нм до 1020 нм. Ширина полосы обзора прибора – 1270 км, пространственное разрешение – 300 м. В 2017 г. запущен второй спутник серии Sentinel-3 с тем же комплектом аппаратуры, что и у первого. Созвездие из двух взаимодополняющих спутников позволяет за сутки получать многоспектральное изображение всей поверхности Земли.

Авторами разработаны сверхбыстрые алгоритмы восстановления интегральных содержаний ВП (IWV, кг/м<sup>2</sup>) и мелкодисперсных фракций аэрозоля (PM<sub>1.0</sub> и PM<sub>2.5</sub>, мг/м<sup>2</sup>) в столбе атмосферы из спектральных коэффициентов яркости (КЯ) на ее верхней границе ( $R_{TOA}$ ) [1, 2]. Для зондирования аэрозоля используются спектральные каналы 1–10 прибора OLCI ( $\lambda = 400\text{--}681$  нм) в которых альbedo большинства природных поверхностей не превышает 10 %. Содержание ВП в атмосфере определяется с использованием каналов OLCI из полос поглощения ВП и кислорода, а также из окон прозрачности атмосферы, что в совокупности позволяет исключить влияние спектра отражения подстилающей поверхности и давления воздуха на точность зондирования ВП. Наличие у OLCI каналов в спектральных областях среднего и сильного поглощений ВП обеспечивает примерно одинаковую погрешность алгоритма, как для сухого, так и для очень влажного воздуха.

Для быстрой обработки коэффициентов  $R_{TOA}$ , регистрируемых в формате многоспектрального изображения, используются регрессионные уравнения, связывающие  $R_{TOA}$ , IWV, PM и геометрические параметры спутниковой сцены (высота местности, зенитные и азимутальные углы визирования и Солнца). Параметры уравнений получены на основе численного моделирования процесса переноса излучения в системе «атмосфера–подстилающая поверхность» методом дискретных ординат с привлечением многолетних данных сети наземных фотометров AERONET по оптическим и микрофизическим характеристикам аэрозоля, а также базы данных ASTER по спектральным альbedo природных поверхностей.

Соотношения, полученные на основе смоделированных данных, позволяют восстанавливать интегральные содержания мелкодисперсных фракций аэрозоля и ВП в столбе атмосферы напрямую из коэффициентов яркости на ее верхней границе без использования многомерных поисковых таблиц (look-up-tables), нейросетевых технологий и сложных компьютерных кодов по расчету характеристик переноса излучения в атмосфере и решению обратных задач аэрозольного светорассеяния.

Верификация разработанных алгоритмов проведена на данных прототипа OLCI – спектрометра MERIS. Оценки IWV и PM, полученные по снимкам MERIS за 2002–2012 гг. сопоставлены с результатами наземного зондирования атмосферы на семи Восточноевропейских станциях сети наземных фотометров AERONET. Среднеквадратические отклонения сравниваемых данных составило  $1.24 \text{ кг/м}^2$  для IWV и  $5 \text{ мг/м}^2$  для PM.

### Определение биоклиматических параметров наземных экосистем

Для расчетов потоков радиации, водяного пара, явного и скрытого тепла на нижней границе атмосферы необходимы данные о температуре подстилающей поверхности (ТПП) с погрешностью не выше 1 К. Однако непосредственное определение ТПП по спутниковым снимкам Земли в тепловой области спектра сталкивается со значительными трудностями учета оптико-метеорологического состояния атмосферы на момент съемки и неопределенности излучательной способности поверхности в направлении визирования. Для решения этих задач кроме окна прозрачности атмосферы 8–12 мкм необходимо использовать данные, получаемые по космическим изображениям Земли в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн. Возможность таких измерений реализована в приборе Европейского космического агентства SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer), установленного на спутниках Европейского космического агентства серии Sentinel-3.

Общепринятый алгоритм восстановления ТПП по данным спутникового ИК-зондирования Земли, известный под названием «Split-Window Algorithm» [3, 4], основан на линеаризации функции Планка и функции пропускания атмосферы в двух спектральных каналах из окна прозрачности атмосферы 10–13 мкм и представлении искомой ТПП в виде алгебраической комбинации яркостных температур, измеряемых со спутника. Алгоритм прост в применении и обеспечивает оперативность обработки спутниковых данных, однако применим лишь для ограниченного диапазона ситуаций в атмосфере с умеренными содержаниями в ней аэрозолей и водяного пара.

С целью повышения точности термического зондирования Земли из космоса разработан новый метод комплексной обработки данных SLSTR, дающий на выходе информацию о передаточных функциях атмосферы, биофизических параметрах земных покровов и их температуре. При анализе спутниковых данных используются разработанные авторами аппроксимационно-аналитические методы расчета характеристик переноса солнечного и теплового излучения в атмосфере [5, 6], а также полученные регрессионные соотношения между излучательной способностью и спектральными коэффициентами яркости природных поверхностей суши. Разработанный метод включает:

- определение оптической толщины аэрозоля по данным SLSTR в каналах 0.555, 0.659, 0.865, 1.61, 2.25 мкм и атмосферную коррекцию спутниковых изображений в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн;
- определение доли покрытия поверхности растительностью и вычисление излучательной способности поверхности с учетом направления визирования и эффектов рассеяния и отражения теплового излучения в системе «растительный покров-почва»;
- определение температуры подстилающей поверхности по тепловым изображениям Земли в каналах 10.85 и 12 мкм, скорректированным на эффекты газового поглощения и собственного излучения атмосферы.

В расчетах газового поглощения и рассеяния в атмосфере задействуются данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Аэрозольная оптическая толщина восстанавливается из КЯ на верхней границе атмосферы  $R_{TOA}$  (Top of Atmosphere) в рамках региональной оптической модели аэрозоля, построенной по данным зондирования атмосферы на станциях AERONET в Европе. Передаточные функции атмосферы рассчитываются с использованием аналитических параметризаций, полученных на основе численного моделирования переноса излучения в атмосфере. Для разделения вкладов атмосферы и подстилающей поверхности в регистрируемые сигналы используются соотношения, связывающие КЯ на верхней границе растительного покрова  $R_{TOS}$  (Top of Canopy) в видимом и ближнем ИК (1.61, 2.25 мкм) диапазонах длин волн. Разработанный метод позволяет выполнять атмосферную коррекцию спутниковых снимков и строить карты распределений параметров земных покровов в пределах Беларуси. Примеры восстановления биофизических параметров подстилающей поверхности по спутниковым данным приведены на рис. 2.

На основе разновременных многоспектральных спутниковых снимков территории Беларуси, сделанных приборами MERIS и MODIS за 2002–2012 гг., и разработанных алгоритмов показано, что более 90 % вариаций средней за вегетационный период температуры подстилающей поверхности определяется тремя основными факторами: общим содержанием водяного пара в атмосфере (TCWV), оптической толщиной аэрозоля (AOT) и долей поглощаемой растительностью фотосинтетически активной радиации (FAPAR). Построены карты чувствительности температуры подстилающей поверхности к отмеченным факторам, позволяющие без использования сложных моделей оценивать влияние аэрозольных загрязнений воздуха и степени озеленения территории на региональный климат. Количественно оценен форсинг температуры подстилающей поверхности, индуцированный растительным покровом, приводящий к тому, что с увеличением чистой первичной продуктивности с эквивалентным ростом доли поглощаемой фотосинтетически активной радиации на 10 %, дневная температура подстилающей поверхности уменьшится на 1.5 °С за счет большего суммарного испарения, а ночная увеличится 0.7 °С за счет большего поглощения солнечной энергии в течение дня. Обнаружена положительная связь между оптической толщиной фонового аэрозоля и температурой подстилающей поверхности на территории Беларуси в теплый период года и теоретически показано, что ее наличие обусловлено эффектами изменения комплексного показателя преломления и размера гидрофильных аэрозольных частиц в поле переменной влажности воздуха, способствующими увеличению пропускания аэрозолями солнечного излучения при абсорбции им влаги.

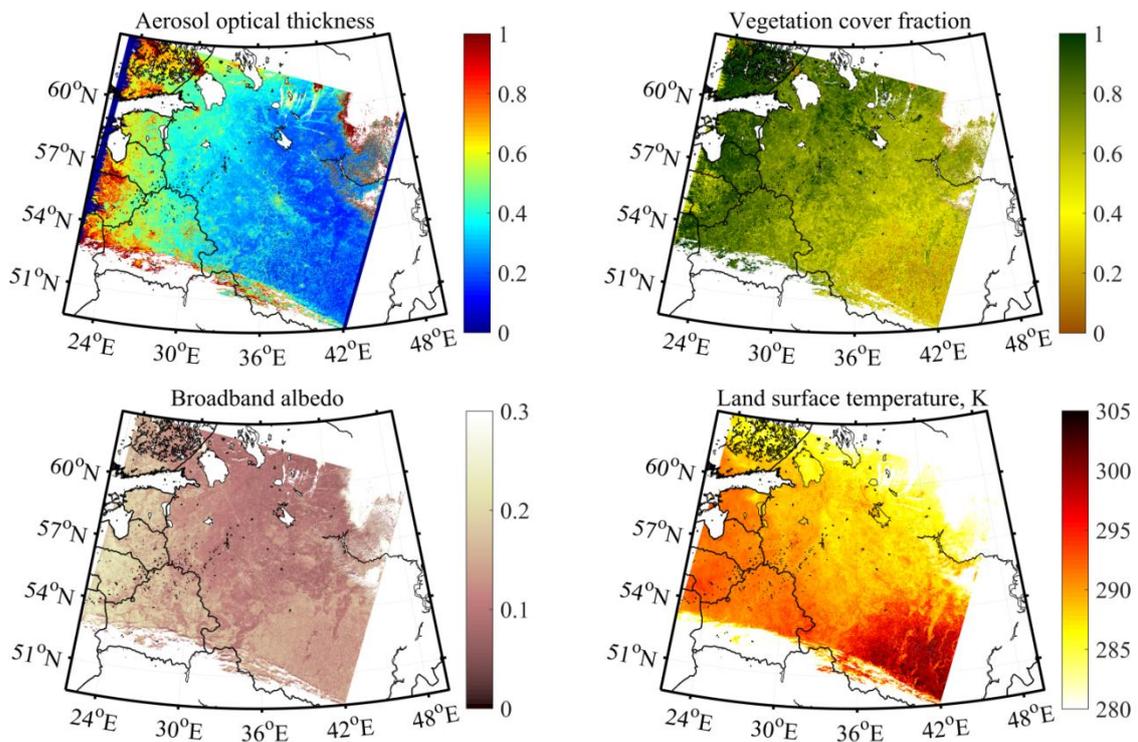


Рисунок 2. Пространственные распределения оптической толщины аэрозоля, проективного покрытия, широкополосного альбеда ( $\lambda = 0,4\text{--}2,5$  мкм) и температуры подстилающей поверхности, восстановленные из многоспектрального снимка Земли прибором SLSTR

### Список литературы

1. S.A. Lysenko. Fast algorithm for retrieval of the atmospheric fine particulate matter maps from the multispectral satellite images // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N. 9. P. 763–774.
2. С.А. Лысенко. Алгоритм восстановления интегрального содержания водяного пара в атмосфере над поверхностью суши по данным спутникового спектрорадиометра // *Журн. прикл. спектр.* 2017. Т. 84, № 2. С. 278–288.
3. S.A. Lisenko, M.M. Kugeiko, V.V. Khomich. Multifrequency lidar sensing of atmospheric aerosol under conditions of information uncertainty // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N. 6. P. 516–525.

4. С.А. Лысенко, В. В. Хомич. Верификация алгоритма обработки данных многочастотного лидарного зондирования аэрозоля // Журн. прикл. спектр. 2018. Т. 85, № 3. С. 491–498.
5. H. Tang, Z.-L. Li. Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications / H. Tang, Z.-L. Li. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg. 2014.
6. J. Zhou et. al. Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data by Integrating Regression Models and the Genetic Algorithm in an Arid Region // Remote Sensing. 2014. V. 6, N. 6. P. 5344–5367.
7. С.А. Лысенко и др. Основные научные результаты и разработки центра климатических исследований НАН Беларуси // Природопользование. 2018. Вып. 32.
8. S.A. Lysenko. Atmospheric correction of multispectral satellite images based on the approximate model of the solar radiation transfer // Atmos. Ocean. Opt. 2017. V. 30, N. 9. P. 775–788.

УДК 616.61-003.72:616.633-074:543.544.5

**ВНЕДРЕНИЕ МЕТАБОЛОМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНСКУЮ ПРАКТИКУ:  
ВЭЖХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АМИКОКИСЛОТНОГО СПЕКТРА МОЧИ КАК МЕТОД ПОИСКА  
БИОМАРКЕРОВ КАМНЕОБРАЗОВАНИЯ В МОЧЕВЫХ ПУТЯХ**

Т.М. ЮРАГА, Н.А. ГРЕСЬ, В.С. КАМЫШНИКОВ, А.А. СИВАКОВ

*Государственное учреждение образование «Белорусская медицинская академия последипломного образования», ул. П. Бровки, 3, г. Минск, 220013, Беларусь*

**Аннотация.** Для объективной оценки состояния метаболизма цистина как наиболее значимого метаболита при процессе камнеобразования в мочевых путях человека проведено исследование аминокислотного спектра мочи методом ВЭЖХ у 695 практически здоровых лиц 1-17 лет. Превышение референса цистина мочи выявлено в 1,4 % случаев. Степень выраженности цистинурии позволяет сформировать группы риска развития цистинового нефролитиаза.

*Ключевые слова:* цистин, лизин, аргинин, моча, мочекаменная болезнь.

**Abstract.** For an objective assessment of the state of cystine metabolism as the most significant metabolite in the process of stone formation in the human urinary tract, a study of the amino acid spectrum of urine was performed by HPLC in 695 healthy individuals 1–17 years old. Excess urine cystine reference was detected in 1.4% of cases. The severity of cystinuria allows you to form risk groups for the development of cystine nephrolithiasis.

*Keywords:* cysteine, lysine, arginine, urine, urolithiasis.

**Введение**

Метаболомика – постгеномная технология, которая изучает метаболические профили, включающие исходные, промежуточные и конечные продукты обмена веществ в клетке, ткани, органе или организме. Целью метаболомного анализа является идентификация и количественное измерение низкомолекулярных метаболитов биологического объекта. Данные анализа метаболитов представляют функциональные конечные результаты, связанные с физиологическими и патофизиологическими процессами, на которые оказывают влияние генетическая предрасположенность и факторы окружающей среды.

Метаболом человека по своему фундаментальному значению подобен геному человека – совокупности всех его генов, или протеому – совокупности всех его протеинов. Это своего рода химический аналог генома. И если геном представляет программу жизни, то метаболом – ее ингредиенты. Изучение метаболома человека проводится в основных доступных для практического использования биологических жидкостях – сыворотке крови, моче и спинномозговой жидкости. Ученые из Университета Альберты (University of Alberta) в Эдмонтоне каталогизировали и охарактеризовали 2 500 метаболитов, обнаруженных в человеческом организме. В рутинных клинических анализах в настоящее время задействовано немногим более 2% известных [1].

Метаболомный проект, знаменующий собой начало новой эры диагностики и обнаружения болезней, окажет на медицину и терапию более существенное влияние, чем проект “Геном человека”, поскольку метаболомы в качестве индикаторов здоровья и протекающих в организме физиологических процессов несравненно чувствительнее и доступнее для исследования [1, 2]. Метаболомы рассматриваются как осведомители генома, предназначенные для “предсказания, предупреждения и мониторинга многих генетических, инфекционных и связанных с загрязнением окружающей среды заболеваний”. Структура метаболома находится в исключительной зависимости от того, что человек ест, где он живет, от времени суток, времени года, общего состояния его здоровья и даже от душевного состояния [2].

Мочекаменная болезнь (МКБ) в настоящее время является одним из распространенных заболеваний, а «детский» уrolитиаз — актуальной проблемой для всех цивилизованных стран мира,