

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Институт металлургии  
и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН**

**80 лет**

Москва

ИМЕТ РАН

2018 г.

**УДК 669.1; 546.1; 546.3**

Институт металлургии материаловедения им. А.А. Байкова РАН – 80 лет.  
Сборник научных трудов.  
М.: Интерконтакт Наука, 2018, 644 с.

ISBN 978-5-902063-58-2

Сборник подготовлен в связи с 80-летием создания Института Металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук. В статьях содержатся материалы по основным направлениям научной деятельности в области металлургии черных, цветных и редкоземельных металлов, материаловедения металлических, керамических, нанокристаллических, композиционных материалов, развития методов исследования состава, структуры и свойств материалов.

Материалы сборника могут представлять интерес для ученых и сотрудников научно-исследовательских и учебных институтов и университетов, промышленных предприятий, работающих в области металлургии черных, цветных и редких металлов, материаловедения неорганических материалов и методов исследования.

*Редакционная коллегия*

Академик К.А. Солнцев (ответственный редактор), академик О.А. Банных (зам. Ответственного редактора), академик В.М. Бузник, академик В.М. Иевлев, академик Ю.В. Цветков, чл.-корр. РАН М.И. Алымов, чл.-корр. РАН С.М. Баринов, чл.-корр. РАН Г.С. Бурханов, чл.-корр. РАН Григорович К.В., чл.-корр. РАН А.Г. Колмаков, чл.-корр. РАН В.С. Комлев, д.ф.-м.н. С.В. Симаков, к.т.н. О.Н. Фомина (ответственный секретарь)

ISBN 978-5-902063-58-2

© ИМЕТ РАН, 2018

## Фотометрический анализ структурного состояния наномолекулярных коллоидных растворов гидросульфатов углерода

*В.А. Ермишкин, Д.П. Мурат, Н.А. Минина, А.К. Томенко*

DOI: 10.30791/978-5-902063-58-2-293-312

В настоящем работе представлены результаты изучения структуры коллоидных растворов на основе гидросульфатов углеродосодержащих соединений в жидком и высушенном состояниях с помощью фотометрического анализа структурных изображений, разработанного в группе высоковольтной электронной микроскопии Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. Показано, что молекулы изученных соединений образуют петлеобразные конфигурации с поперечными размерами 40 - 50 нанометров.

Изучена кинетика разрушения злокачественной опухоли на коже лица пациента в результате воздействия на него коллоидного комплекса гидросульфата на основе селена и углерода. Показано, что данные фотометрического анализа структурных изображений позволяют количественно оценить степень выздоровления кожного покрова, пораженного злокачественными новообразованиями.

### Введение

Настоящая работа проводилась по инициативе Ю.А. Новицкого, который являлся основоположником одного из новых перспективных подходов к лечению злокачественных образований кожи – использованию наномолекулярных углеродных лекарственных препаратов, обладающих противоопухолевым действием. Его пионерские экспериментальные и клинические исследования структурной эволюции биокolloидов кожи под действием наноразмерных коллоидных соединений углерода и графита уже сейчас получили признание специалистов, а разработанные им технологии получения наноразмерных лекарственных препаратов обещают успехи в масштабах, не поддающихся воображению. Настоящая работа посвящена исследованию некоторых частных задач, которые могут оказаться полезными для дальнейшего развития данного направления. Одна из них связана с определением размеров структурных элементов коллоидных систем на основе гидросульфатов углерода и графита. Другая задача состоит в изучении кинетики структурных признаков оздоровления кожных тканей, пораженных

меланомой, достигнутого в результате воздействия на нее углеродосодержащих коллоидных соединений. Для решения обеих задач был использован фотометрический анализ структурных изображений (ФАСИ), разработанный при участии авторского коллектива.

### **Физико-химическое воздействие и механизм лечебного воздействия наномолекулярных коллоидных растворов гидросульфатов углерода (НКРГУ) на патологические кожные образования.**

Достаточно полный обзор результатов своих экспериментальных и клинических исследований в развиваемом ими направлении вместе с физико-химическим и медико-биологическим обоснованием их методологии лечения с описанием микромеханизмов лечебного воздействия наномолекулярных коллоидных соединений гидросульфатов углерода и графита содержится в монографии [1]. По этой причине мы рассмотрим микромеханизм целительного воздействия НКРГУ на кожный покров, пораженный злокачественными новообразованиями, только в той мере, которая потребуется для понимания полученных в настоящей работе результатов. По современным воззрениям живые ткани человеческого организма можно рассматривать как биокolloидную молекулярную систему, существование которой обеспечивается поступлением из окружающей среды необходимых для него энергетических ресурсов и веществ в форме кислорода и животной и растительной биомассы. Переработанные организмом биоресурсы посредством кровеносной системы поступают в различные его части. Без такого транспорта специфического питания ко всем взаимосвязанным системам организма невозможно их длительное существование ни отдельными частями, ни в целом. Злокачественные новообразования требуют для своего развития и существования точно таких же условий, что и жизненно важные органы человека, поэтому изоляция их от системы, через которую к ним поступают необходимые для жизни вещества, является эффективным средством борьбы с ними. Как было установлено [1], наномолекулярные коллоидные углеродосодержащие препараты обладают свойством дегидратации живых тканей, находящихся с ними в контакте. Молекулы гидросульфатов углерода и графита имеют форму цепочек, обладающих на одном конце гидрофильными свойствами, на другом гидрофобными. Такая специфика реакции концов цепочки на гидроксильные группы воды обусловлена электромагнитной природой межатомных сил, объединяющих атомы в молекулярные образования. Подобное строение наномолекулярных коллоидных соединений гидросульфатов углерода

вызывает такое воздействия на опухоли, находящиеся на поверхности кожи, при котором с одной стороны происходит дегидратация самой опухоли и прекращение поступления питательных веществ из организма по кровеносной системе с другой стороны. В таких условиях гибель опухоли становится только вопросом времени, что и было показано наглядно основоположниками данного направления. Существенным фактором, который во многом контролирует микромеханизм уничтожения опухоли и его кинетику является размерное соотношение капилляров кровеносных сосудов и частиц углеродных соединений лечебных препаратов. Проникающая способность последних обеспечивает полноту изоляции тела злокачественной опухоли по глубине от кровеносных сосудов, через которых идет транспорт питательных веществ. Наноразмерность частиц коллоидного раствора гидросульфата углерода является необходимым условием его лечебного эффекта, так как его выполнение обеспечивает их проникновение через поры кожи на большую глубину. По-видимому, оно является и достаточным условием, так как лечебный эффект исследуемых препаратов обеспечивается не атомным строением углерода, а его способностью формировать наномолекулярные цепочки с гидрофильными и гидрофобными концами.

### **Фотометрический анализ структурных изображений (ФАСИ). Физические основы и возможности.**

Оптические свойства непрозрачных материалов относительно давно стали предметом физических исследований методами электродинамики сплошных сред. обстоятельный обзор этих исследований содержится в монографии [2]. В ней рассмотрены элементарные механизмы взаимодействия света и вещества - процессы поглощения, отражения и рассеяния света поверхностью твердых тел. Эти исследования имеют важное познавательное значение, так как только в них изучаются закономерности взаимодействия двух форм материи – вещества и поля.

Анализ проблем рассеяния света поверхностью конденсированных сред по большей части направлен на выяснение закономерностей данного явления в оптически однородных средах, лишенных локальных рассеивающих центров, и проводится в приближении слабого рассеяния. В последние годы проблема рассеяния света получила мощный импульс для своего развития в направлении изучения флуктуаций физических переменных, описывающих кинетику фазовых переходов в кристаллических материалах с использованием лазерных источников света [3]. В процессах

рассеяния фотонов видимого света поверхностью конденсированной среды отражаются закономерности их взаимодействия с электронной структурой этой среды, которая определяется, прежде всего, типом физической природы межатомных связей, являющейся источником ее образования. Так, характер этого взаимодействия определяет цветовую окраску, которую она приобретает при освещении видимым светом. Критерием для определения результата взаимодействия падающего света с кристаллом, является ширина энергетической щели между зоной валентных электронов и зоной проводимости. Если такой щели, которая отделяет связанные состояния электрона от свободных, не существует, как, например, у металлов и их сплавов, то преобладают процессы поглощения энергии фотонов свободными электронами с последующим испусканием фотонов с меньшей энергией и в ином направлении. Для того, чтобы правильно оценить возможности фотометрического анализа структурных изображений, необходимо рассмотреть физику взаимодействия излучения с веществом на уровне элементарных актов. Фотоны являются квантами электромагнитных полей и наделены всеми свойствами, которыми обладают объекты двойственной природы – частицы и волны. В качестве псевдо частицы фотоны могут взаимодействовать с валентными электронами по механизму прямого столкновения с электронами проводимости металлов с обменом импульсами и энергиями, подобно тому, как это имеет место в эффекте Комптона при рассеивании квантов рентгеновского излучения на электронах [4]. Но существует и дальнедействующая составляющая фотон-электронного взаимодействия и она носит полевой характер. Волновые свойства фотона могут быть охарактеризованы вектором Пойнтинга ( $\vec{S}$ ) [5], который имеет смысл мощности, излучаемой с единицы поверхности:

$$\vec{S} = \frac{c^2}{2\pi k_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (1)$$

где:  $c$  - константа, равная скорости света,  $k_0 = 9 \times 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2$  - константа, имеющая смысл размерного коэффициента,  $\vec{E}$  - напряженность электрического поля фотона,  $\vec{B}$  - напряженность магнитного поля фотона. Электромагнитное поле фотона при его приближении к металлу или сплаву заставляет колебаться свободные (валентные) электроны с частотой колебаний напряженности его электрического поля, возбуждая тем самым в металле переменный поверхностный ток, направленный в направлении противоположном направлению  $\vec{E}$ . Переменный поверхностный ток в свою очередь по закону Фарадея создает переменное электромагнитное поле,

которое в случае металла с хорошей проводимостью отражается практически целиком без потери своих напряженностей. В проводниках с менее высокой проводимостью энергия падающего излучения будет частично поглощаться в результате выделения Джоулева тепла, а частично переноситься отраженной волной. В зависимости от подготовки поверхности толщина поверхностного слоя, в котором локализован поверхностный ток, изменяется от 100 мкм для механически полированной поверхности до 150Å для электрополированной поверхности. Несмотря на то, что при изучении взаимодействия излучения в диапазоне видимого света с веществом объектом исследования является только тонкий слой, прилегающий к поверхности, его результаты очень важны, так как оно реализуется на уровне фотоны – валентные электроны, а последние играют ведущую роль в формировании физических свойств конденсированных веществ. Если в кристаллах отсутствуют центры поглощения фотонов, роль которых выполняют дефекты кристаллической решетки и атомы металлов, то при энергетической щели, превышающей диапазон энергий фотонов видимого света (1,15 - 3,5 эВ [6]), тонкие кристаллы с ионной и ковалентной межатомной связью будут для них прозрачны. Так, углерод в модификации алмаза (ширина энергетической щели 5,4 эВ) прозрачен для видимого света, но приобретает желтоватый оттенок в результате облучения высокоэнергетическими частицами [6]. Монокристаллы кремния имеют характерный металлический блеск в силу того, что энергетическая щель между электронами в зонах валентности и проводимости составляет всего 1,14 эВ, т.е. существенно ниже энергии фотонов видимого света, под действием которых происходит переход электронов в зону проводимости, в которой они ведут себя как свободные электроны в металлах. Своей окраской неметаллические кристаллы обязаны присутствию в них металлических примесей или дефектов кристаллической решетки. Однако она может быть результатом дифракции света в объеме кристалла, если он содержит примеси в виде мелких выделений с расстояниями между ними одного порядка с длиной волны фотонов видимого света. Рубиновые стекла могут быть примером такого окрашивания. Такой же тип окрашивания характерен для тонких пленок из продуктов химических реакций на поверхности металлов с сильными реагентами [7]. Таким образом, исследование закономерностей отражения видимого света от поверхности твердого вещества могут служить источником информации об энергетическом состоянии электронов этих веществ и их изменениях в результате внешних энергетических воздействий, вызывающих структурные изменения либо посредством изменений в степени дефектности

кристаллических решеток, либо в химическом или фазовом состояниях вещества на поверхности. Исследуя микромеханизмы фотон-электронных взаимодействий, удастся получить оценки концентрации электронов проводимости на поверхности Ферми, выяснить особенности геометрической формы последней, определить частоты соударений электронов [8].

Изложенные представления о характере взаимодействия фотонов видимого света и электронов исследуемых материалов были использованы нами при разработке метода фотометрического анализа структурных изображений. Учитывая физическую природу взаимодействия света с веществом, можно было ожидать, что спектр яркости отражения видимого света существенным образом зависит от плотности валентных электронов в приповерхностных слоях твердых тел. На макроскопическом уровне эта особенность фотон-электронного взаимодействия проявляется в зависимости спектров яркости отражения видимого света, падающего на исследуемую поверхность материала, от ее шероховатости, типа кристаллической решетки, химического состава его поверхностных слоев. Проведенные эксперименты полностью подтвердили принятые исходные предположения в отношении общих закономерностей взаимодействия света и вещества и роли отдельных факторов, определяющих его характер.

Из изложенного выше следует, что отражение видимого света от поверхности исследуемого вещества можно рассматривать как зондирование энергетического состояния его свободных и слабосвязанных электронов, а именно они участвуют в формировании его физических и химических свойств. В этом случае из оценки изменения спектров отражения под влиянием внешних энергетических воздействий можно оценить изменение энергетического состояния свободных электронов. Физические предпосылки ФАСИ были реализованы нами в процессе создания измерительно-аналитического программного комплекса многофункционального назначения [9-13]. Его программное обеспечение постоянно совершенствуется и при этом расширяются аналитические возможности ФАСИ, которые уже нашли разнообразное применение. Метод основан на совместном анализе изображений структуры отдельных фрагментов поверхности испытуемых образцов и спектров яркости отражения от них видимого света, падающего на них от внешнего источника. Изображения структуры поверхности и спектров отражения от них снимаются до внешнего воздействия, во время и после него. В качестве примера на рис.1 показано изображения эталонного и исследуемых объектов и спектры яркости отражения видимого света от их поверхности. В качестве эталона использована поверхность зеркала. Если бы



качество поверхности было идеальным, то спектр яркости отражения от него в точности соответствовал бы спектру внешнего источника видимого света, который был использован для освещения исследуемой поверхности. Спектр яркости отражения строится в координатах «спектральная плотность локальной яркости отражения – яркость этого отражения». Обе шкалы проградуированы в относительных единицах в интервалах  $[0,1]$ . Спектральная плотность яркости отражения численно равна отношению числа пикселей структурного изображения, имеющего одинаковую окраску, к общему числу пикселей, на которое разбивается исследуемое изображение структуры при выбранном режиме анализа.

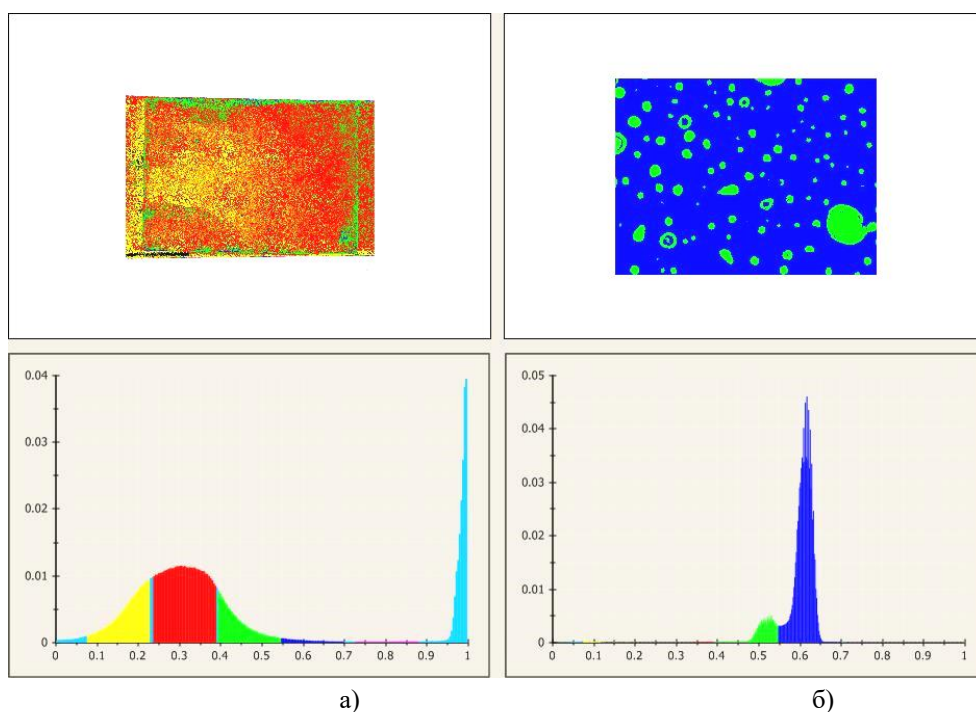


Рис.1. Изображения структуры поверхности фрагментов и спектров яркости отражения от них видимого света: а) зеркала; б) коллоида соединения графита при увеличении  $\times 2000$

Обычно анализ структуры изображения начинается с построения разностного спектра яркости отражения от исследуемого объекта и эталона для выделения на спектре яркости отражения интервалов, в которых происходят наиболее характерные изменения по сравнению с эталонным спектром яркости отражения. Однако в данном исследовании интервалы были выбраны на спектре яркости отражения эталона с тем, чтобы

обеспечить постоянные условия сравнения исследуемых структур коллоидов. Из рисунка видно, что выбранные интервалы спектра были окрашены в различные цвета: красный был присвоен интервалу с максимальным значением спектральной плотности эталона, желтый интервалу с наименьшей интенсивностью отражения, зеленый – интервалу со средней интенсивностью, синий – интервалу повышенной интенсивности и малиновый – интервалу максимальной интенсивности отражения света от зеркала. Для ограничения шкалы яркости вводились эталоны черного – в области преобладания процессов поглощения света (левый конец спектра) и белого в области доминирования процессов отражения света (правый конец спектра). В этом месте виден острый пик голубого цвета, который соответствует белому эталону, а не зеркалу. ФАСИ располагает широким кругом возможностей, которые изначально были ориентированы для решения задач, для которых он предназначался. Большинство из них не были задействованы в настоящей работе из-за отсутствия в них необходимости.

### **Фотометрические исследования коллоидных растворов гидросульфатов углерода.**

Выше уже отмечалось, что основной целью исследований в данной работе явилось определение средних размеров углеродных компонентов в коллоидных растворах их гидросульфатов. Для исследования заказчик предоставил два типа таких коллоидов. Один из них был приготовлен на основе сульфата углерода, взятого в виде сажи со структурной формулой  $C_4 - 2H_2SO_4HSO_4$ , другой на основе сульфата графита со структурной формулой:  $C_{21} - 2H_2SO_4HSO_4$ . Жидкие сульфаты углеродных соединений были растворены в воде в соотношении 1:100. Первоначально объекты исследования в виде жидких капель наносились на предметные стекла. Сразу после нанесения капель на стекла их исследовали в световом микроскопе типа «Polyvar-Met» фирмы Reichert при увеличениях  $\times 500$ , 1000 и 2000. Структура объектов при этом фотографировалась. После высыхания растворов за 21 час объекты вновь исследовались при тех же увеличениях и вновь фотографировались. Отснятые изображения анализировали методом ФАСИ. Полученные изображения увеличивали на экране монитора, доводя изображения до разрешения их отдельных частиц. Кроме среднего размера углеродных соединений во всех случаях определялись средние значения спектральной плотности во всех выделенных интервалах спектров яркости отражения от исследуемых объектов. На рис.2 (а, б) показаны структуры коллоидных растворов углерода при 500-кратном увеличении по данным

анализа с помощью ФАСИ. В исходном жидком состоянии коллоид этого соединения имел вид прозрачной жидкости. Рис. 2 а соответствует коллоидному раствору гидросульфата углерода в жидком состоянии. Рис. 2 б соответствует этому же соединению, но после высыхания капли коллоида. Из рисунков видно, что спектры яркости отражения в результате изменения агрегатного состояния коллоида изменились мало. Зеленый цвет соответствует общему фону коллоида, красный и синий цвета можно приписать компонентам коллоида, но при использованном увеличении ничего более конкретного сказать невозможно.

Ввиду этого наблюдения в микроскопе были повторены при более высоком увеличении ( $\times 1000$ ) и увеличение фото с 1000-кратным увеличением было повышено компьютерными средствами. На рис. 3 а, б показаны полученные при этом результаты.

Из рисунка видно, что в результате увеличения в микроскопе происходит инверсия цвета фона с заменой зеленого цвета на синий. Увеличение в микроскопе улучшает результаты наблюдений, но не настолько, чтобы разрешить структуру коллоида. В этом отношении увеличение изображения программными средствами показало себя более эффективным. Результаты предварительных наблюдений показали, что для выполнения поставленных задач полезно использовать оба опробованных приема повышения увеличения. В соответствии с этим дальнейшие наблюдения за структурой коллоидов проводились при увеличении в световом микроскопе  $\times 2000$ , которое с помощью программных средств доводилось до  $\times 10200$ . На рис. 4 а, б показаны структуры коллоидных растворов соединений углерода в жидком и высушенном состоянии. Из рисунков 4 а, б видно, что в коллоидных растворах гидросульфата углерода и в жидком растворе и в высушенном соединении углерода образуют замкнутые конфигурации из цепочек с мономолекулярной шириной, составляющей  $49,01 \pm 0,02$  нанометров. Ширина цепочек одинакова для обоих состояний коллоидов. Распределения замкнутых цепочек в обоих случаях отличаются большой неравномерностью и напоминают колонии мелких цепочек, а размеры колоний нельзя охарактеризовать некоторыми средними значениями, так как при больших увеличениях в поле наблюдения попадает небольшая часть выделенного объекта. Однако размеры отдельных цепочек в пределах выбранных частей объектов оказались меньшими для жидких коллоидов. Цепочки гидросульфатов углерода в коллоидах, судя по окраске, отличающей отдельные молекулы в ее составе от окраски цепочки в целом, содержат незначительное количество посторонних примесей.

Сравнение рисунков 5 а и б приводит к выводу, что структурные образования коллоидов сульфатов графита в жидком и твердом состоянии также имеют вид замкнутых конфигураций цепочек. Но в высушенном состоянии ширина колоний существенно больше, чем в жидком состоянии. Средние поперечные размеры отдельных цепочек, входящих в состав колоний, близки по величине к коллоидам из сульфатов углерода и составляют  $39,20 \pm 0,02$  нанометров. Процентное содержание молекул гидросульфатов углеродных соединений определялось по результатам измерений поверхности всего исследуемого объекта при трех увеличениях  $\times 500$ ,  $\times 1000$ , и  $\times 2000$ . Результаты этих измерений приведены в таблице №1.

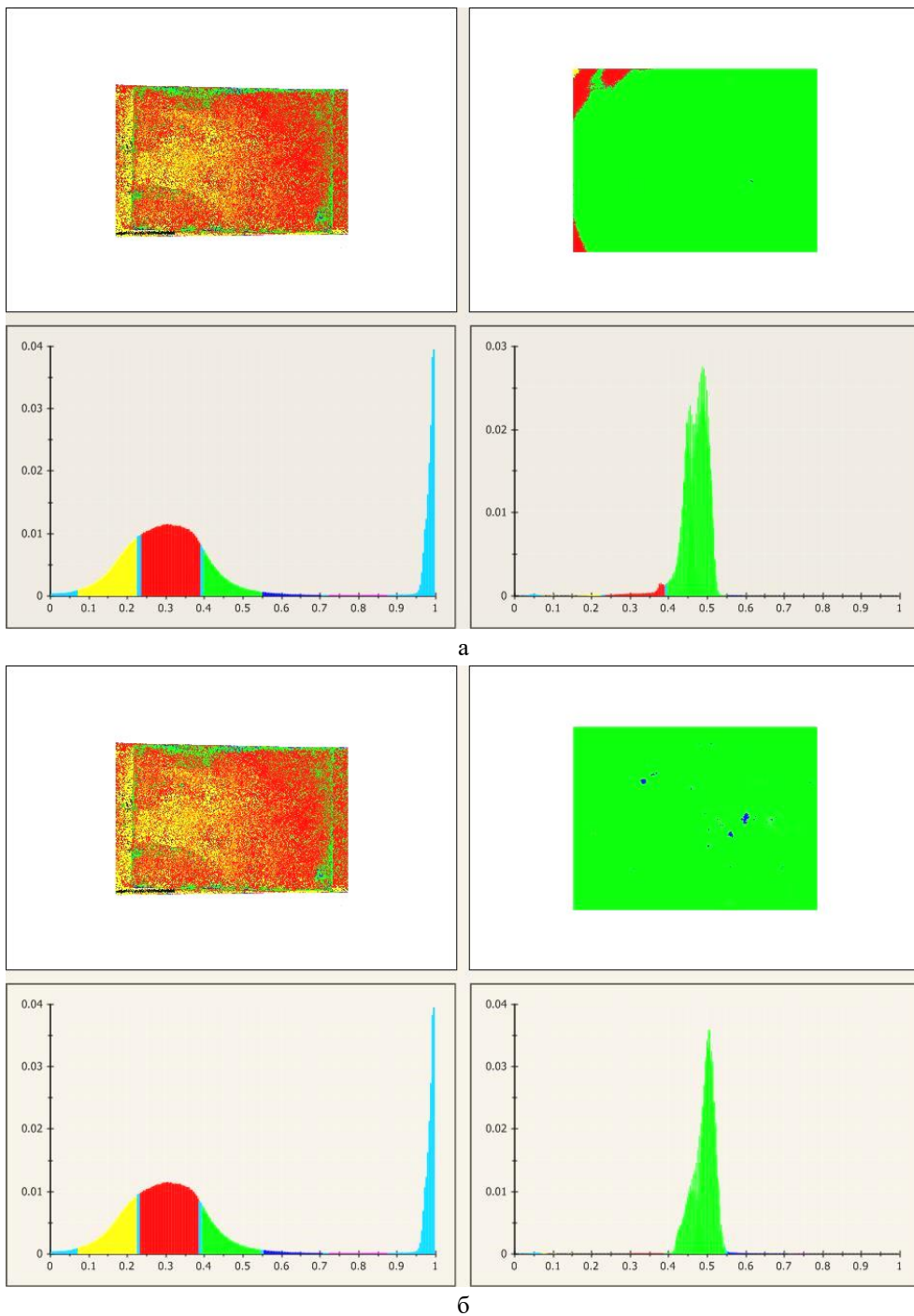
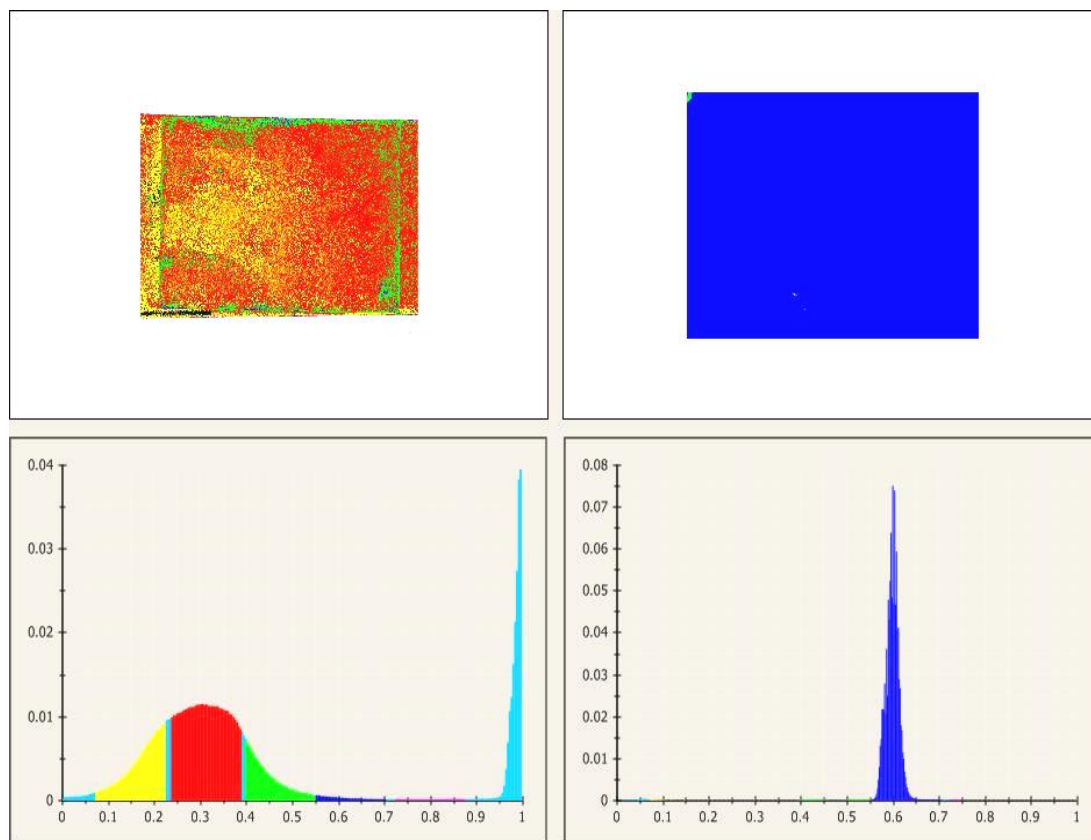
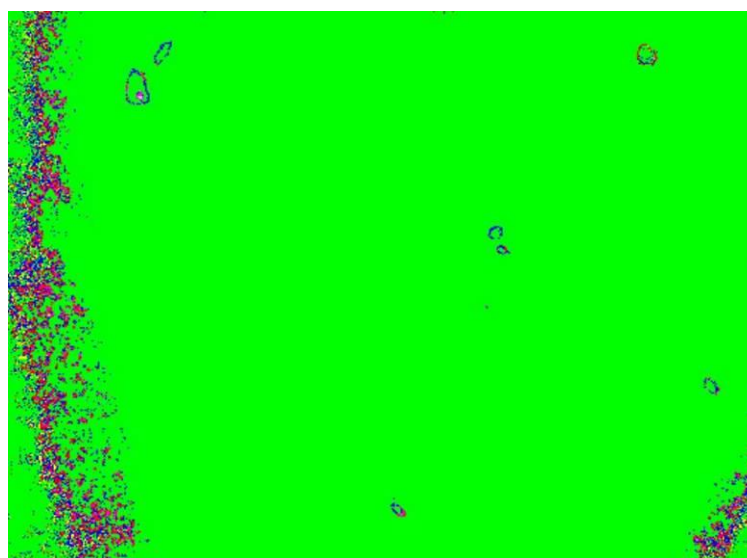


Рис.2. а) – структура и спектр яркости от нее коллоидного раствора углерода в жидком состоянии; б) то же после высыхания при  $\times 500$

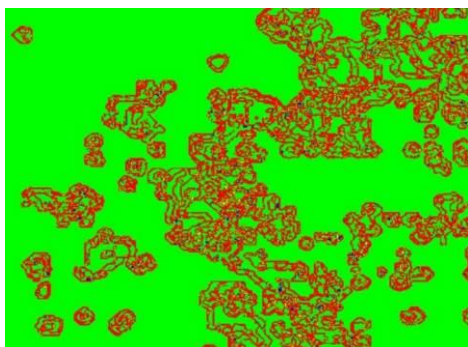


а

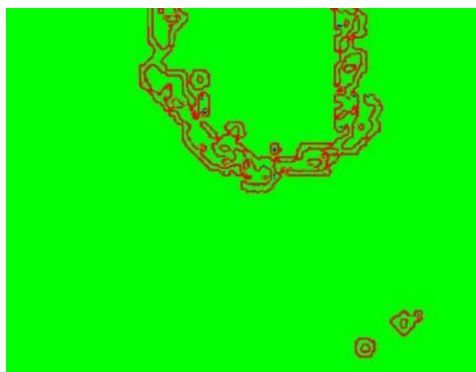


б

Рис.3. а) - структура и спектр яркости от нее коллоидного раствора углерода в жидком состоянии при  $\times 1000$ ; б) - то же, но после дополнительного увеличения программными средствами до  $\times 4000$

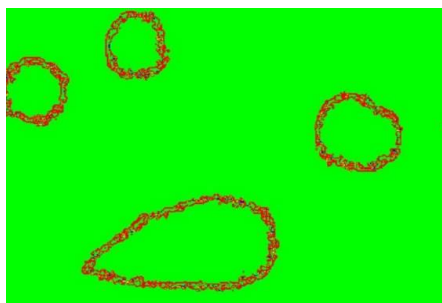


а

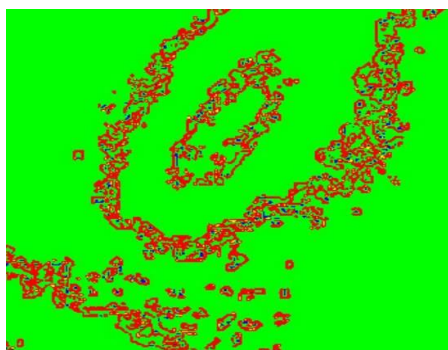


б

Рис.4. а, б. Структура коллоидных растворов соединения гидросульфата углероды при увеличении  $\times 10200$ : а) - в жидком состоянии; б) - в высушенном.



а



б

Рис.5. а, б Структуры коллоидов гидросульфата графита в жидком и высушенном состояниях при увеличениях  $\times 10200$ ; а) - в жидком состоянии; б) - в высушенном.

Относительные доли гидросульфатов углерода в коллоидных растворах

Состояние коллоида	Гидросульфат углерода	Гидросульфат графита	Увеличение
жидкое	0,000048	0,003245	500
сухое	0,001082	0,114751	
жидкое	0,031850	0,000446	1000
сухое	0,029420	0,002689	
жидкое	0,045458	0,045458	2000
сухое	0,004314	0,002689	

Следует отметить, что данные таблицы №1 ввиду сильной неоднородности распределения наномолекулярных соединений гидросульфатов углерода в коллоиде сильно зависят от выбора фрагмента исследуемого объекта, который попадает в поле наблюдения. С ростом увеличения эта неоднородность имеет тенденцию расти. Кроме того, толщина исследуемой капли коллоида наибольшая в центре и наименьшая на ее периферии, а при высыхании наномолекулы гидросульфатов углеродистых соединений группируются по периферии капли, и это тоже влияет на измеренные значения относительных долей содержания углеродистых соединений в коллоидах.

### Фотометрические исследования кинетики разрушения меланомы

Фотометрический метод анализа структурных изображений был также использован нами для изучения кинетики разрушения одного из видов злокачественных новообразований на коже – меланомы – под действием углесодержащих коллоидных растворов. Для этого мы воспользовались фотоснимками из монографии [1], на которых воспроизводятся последовательные стадии деградации меланомы при длительном воздействии на нее лекарственных препаратов на основе коллоидных соединений углерода. В качестве эталона для сравнения состояния поверхности меланомы по мере ее излечения был использован фотоснимок здорового участка кожи лица того же пациента. На рис. 6 можно увидеть результаты такого сравнения для структуры поверхности кожи меланомы и на здоровом участке и спектров яркости отражения от них видимого света, полученных методом ФАСИ по описанной выше методике. На спектрах видно, что было



выделено 4 интервала: 1 - красным цветом интервал с наибольшим поглощением; 2 - зеленым интервал с максимальной спектральной плотностью; 3 – синим интервал с максимальной яркостью отражения; 4 - промежуточный интервал между красным и зеленым. Общий характер изменения интенсивности отражения в результате воздействия лечебного препарата на основе гидросульфата углеродо - селенового комплекса показан на рис.7, на котором приведены временные зависимости спектральных плотностей яркости отражения в четырех выбранных интервалах спектра отражения видимого света от меланомы. Время отсчитывалось от начала применения лечебного препарата.

Из рисунка видно, что эти зависимости имеют волнообразный периодический характер, причем в интервале 1 прослеживается тенденция к затуханию со временем применения препарата, а в интервале 2 к возрастанию спектральной плотности. В интервалах 3 и 4 зависимости колеблются на всем протяжении лечения около некоторых средних значений спектральных плотностей с амплитудными значениями в 2-3 раза меньшими, чем в интервалах 1 и 2. На рис.8 показаны те же участки кожи, но в момент достижения максимального значения в интервале 1 и минимального в интервале 2 после 98,33 часов применения гидросульфата углеродо-селенового комплекса.

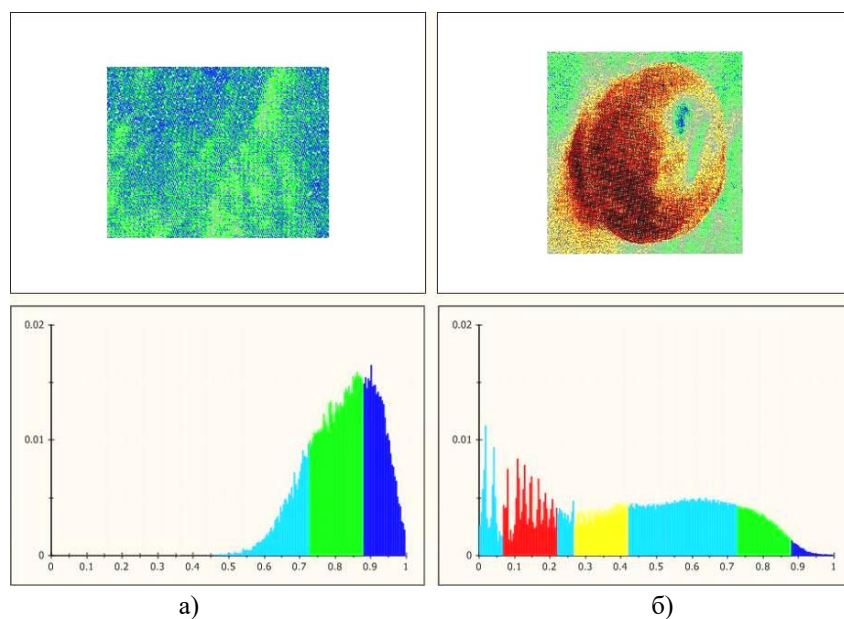


Рис.6. а, б. Участки кожи и спектры яркости отражения от них видимого света: а) - участок здоровой кожи; б) – участок кожи, пораженной меланомой до начала применения лечебного препарата.

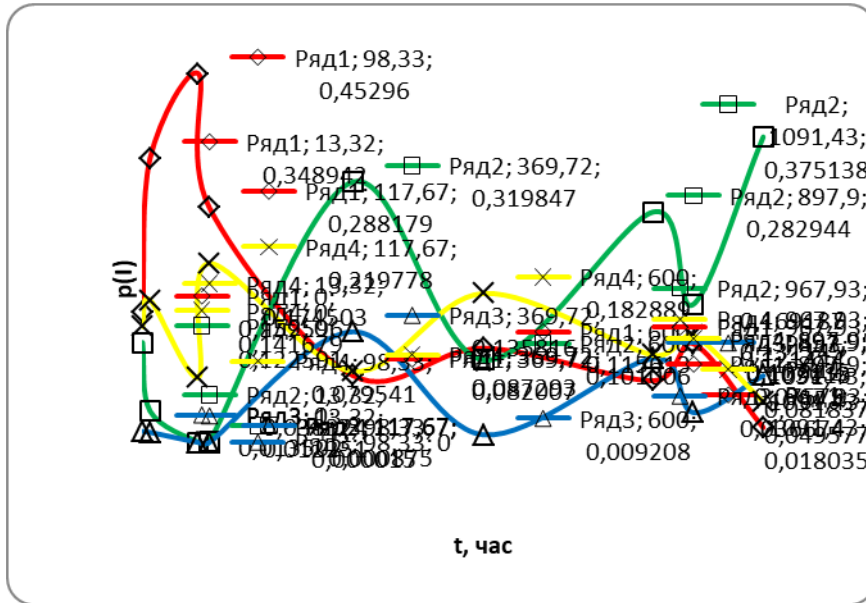


Рис.7. Временные зависимости спектральной плотности яркости отражения видимого света от кожного покрова на участке, пораженного меланомой, в выбранных интервалах спектра: 1 -  $\diamond$ ; 2 -  $\square$ ; 3 -  $\Delta$ ; 4 -  $\times$ .

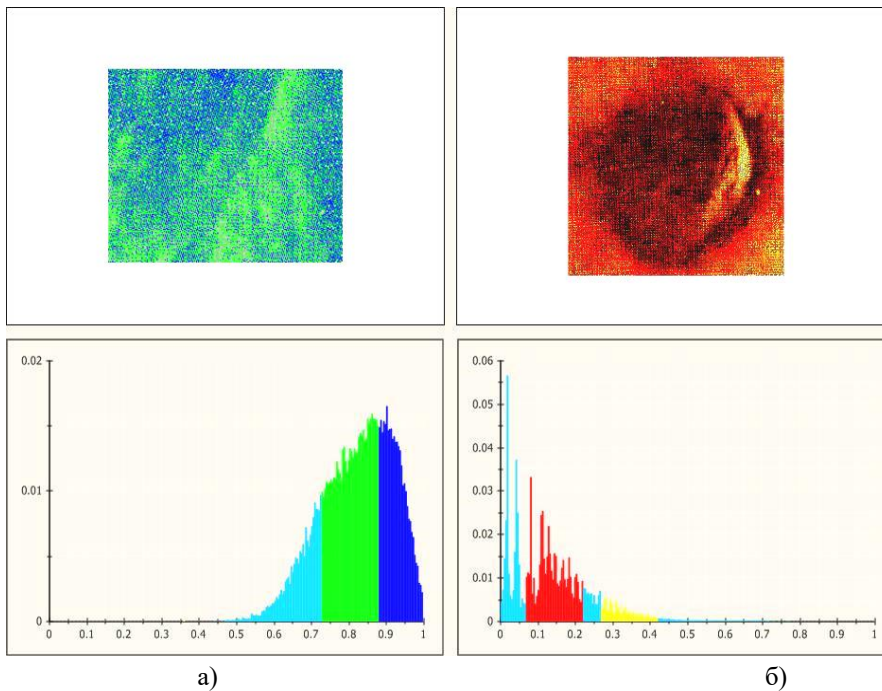


Рис.8. а, б. Участки кожи и спектры яркости отражения от них видимого света: а) - участок здоровой кожи; б) – участок кожи, пораженной меланомой после 98,33 часов с начала применения лечебного препарата

На рисунке видно, что препарат оказывает действие, приводящее к росту интенсивности отражения в интервале, где преобладают процессы поглощения света и полностью отсутствует отражение света в высокоэнергетической части спектра. При этом заметно, что участки кожи, смежные с меланомой, под действием препарата приобретают такую же отражающую способность, как и кожный покров меланомы. На рис.7 заметно, что спектральная плотность в интервале 4 повторяет в основном ее изменение в интервале 1, но с меньшими значениями амплитуды и, соответственно, в интервале 3 она следует за изменениями в интервале 2. На рис. 9 показана структура поверхности кожи меланомы после 600 часов с начала лечения. Видно, что в спектре кожного покрова меланомы заметно уменьшилась доля красной (интервал 1) окраски, но появились участки с желтой окраской (интервал 4) и с синей окраской, которая полностью отсутствовала в спектре от меланомы на рис. 8 б. Наконец, на рис. 10 а, б зафиксировано состояние кожного покрова меланомы и спектра яркости отражения от него после 1091,43 часов применения лекарственного препарата.

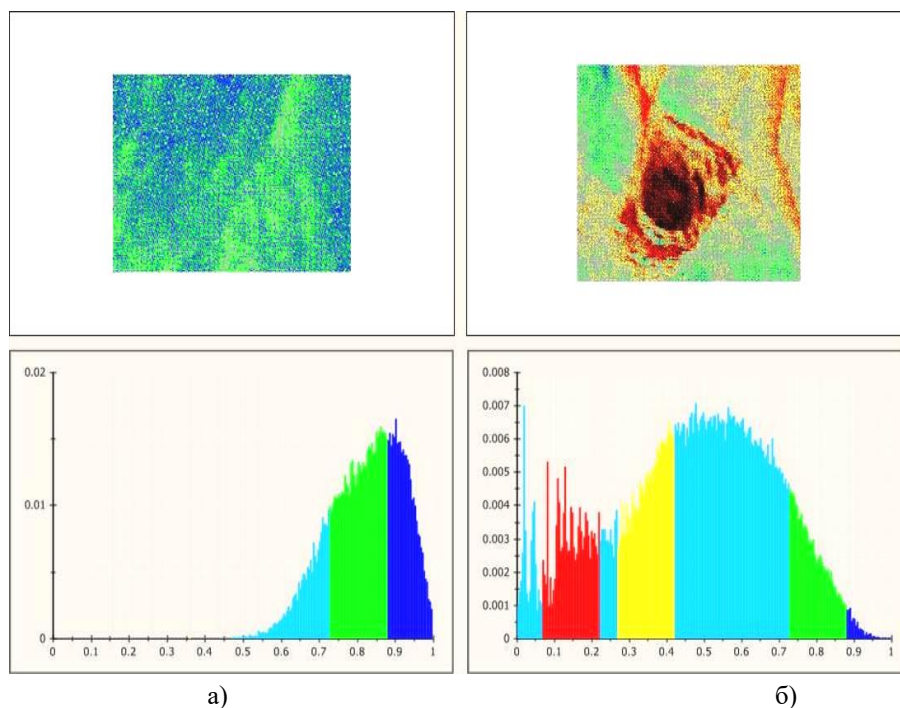


Рис.9. а, б. Участки кожи и спектры яркости отражения от них видимого света: а) - участок здоровой кожи; б) - участок кожи, пораженной меланомой после 600 часов с начала применения лечебного препарата

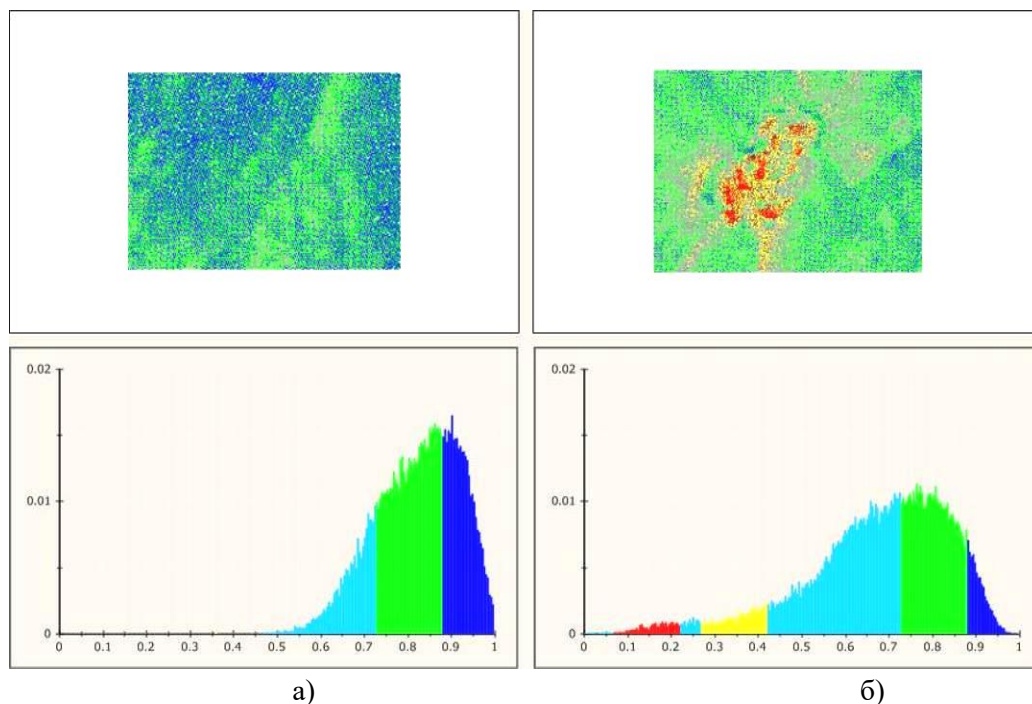


Рис.10. а, б. Участки кожи и спектры яркости отражения от них видимого света: а) - участок здоровой кожи; б) - участок кожи, пораженной меланомой после 1091,43 часа с начала применения лечебного препарата

На рисунке заметно дальнейшее уменьшение доли поверхности, имеющей красную окраску и увеличение ее долей с синей и зеленой окраской. Следует отметить, что на неорганических материалах аналогичные изменения в окраске вызываются увлажнением поверхности исследуемых материалов.

### Заключение

В результате проведенных исследований с помощью фотометрического анализа структурных изображений установлено, что коллоидные растворы гидросульфатов углерода, приготовленных из сажи и графита, содержат молекулы этих веществ в виде крупных петлеобразных замкнутых конфигураций или в виде скоплений мелких петель с поперечными размерами порядка 40-50 нанометров. Распределение этих петель на поверхности наблюдения крайне неравномерно. При этом высыхание коллоида усиливает тенденцию к группированию петель на периферии исследуемой капли коллоида. Представляет интерес изучить эволюцию формы петель на поверхности кожи живого организма.

Исследование кинетики разрушения меланомы на коже лица пациента показало преобладание в спектре яркости отражения видимого света от кожного покрова низкоэнергетических отражений до начала воздействия препарата, некоторое увеличение площади с таким типом отражения в начале воздействия препарата за счет изменения окраски здоровой кожи на участках, окружающих опухоль и подвергающихся воздействию препарата, с постепенным изменением спектра в сторону возрастания его более высокоэнергетических составляющих по мере увеличения продолжительности воздействия препарата. Представляется возможным рассматривать увеличение спектральной плотности высокоэнергетических отражений при использовании коллоидных молекулярных соединений гидросульфатов углерода при лечении злокачественных новообразований на поверхности кожного покрова как индикатор его оздоровления. Соответственно преобладание в спектрах яркости отражения от кожного покрова видимого света низкоэнергетических отражений может служить количественным показателем степени ее пораженности. Полученные данные подтверждают представления авторов [1] об изоляции опухоли от влаги, через которую осуществляется ее питание, как основной причины ее разрушения.

*Работа выполнена по государственному заданию №007-00129-18-00 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а).*

## Литература

1. Новицкий Ю.А., Новицкий М.Ю. Наномолекулярные углеродные и графитовые лекарственные средства, обладающие дермотропным и противоопухолевым действием. Москва-Рязань, ООО «ЕЦНТ», 2010, 673 с.
2. Соколов А.В. Оптические свойства металлов. М.: Физматгиз. 1961. 464 с.
3. Гинзбург В.Л., Голдберг У.И., Головкин В.А. и др. Рассеяние света вблизи точек фазовых переходов. М.: Наука. 1990. 414 с.
4. Бейзер А. Основные представления современной физики. М.: Атомиздат. 1973. 548с.
5. Орир Дж. Физика М. : Мир. Т 1 и 2 , 622 с.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978. 791 с.
7. Зайцева Л.П., Порохова Т.Г. Цветная металлография в видимых и ультрафиолетовых лучах. М.: Металлургия. 1964. 144 с.
8. Строганов В.И. Нелинейная металлооптика. Новосибирск.: Наука. 1972. 95 с.
9. Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Информационная технология фотометрического анализа усталостной повреждаемости материалов. Информационные технологии» 2007. №11 С. 65-70

10. Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Применение фотометрического анализа структурных изображений для оценки сопротивления усталостному разрушению. Автоматизация и современные технологии. 2008. №2 С. 11-21.
11. Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Система фотометрического анализа структурных изображений и ее применение для исследования материалов в условиях усталости. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №10 С. 38-44.
12. Ермишкин В.А., Лепешкин Ю.Д., Мурат Д.П., Овчинников И.Н. «Способ фотометрической диагностики структурного состояния материалов по данным анализа цифрового кодированного изображения их поверхности». Патент №2387974, 2010. Бюл. № 12.
13. Ермишкин В.А., Минина Н.А., Федотова Н.Л. «Способ фотометрической диагностики фазовых превращений в твердых телах по данным анализа спектров яркости отражения света от их поверхности», Патент №2387978, 2010. Бюл. №12.