

ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Современные проблемы математических
и естественных наук в мире**

Выпуск V

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 июня 2018 г.)**

г. Казань

2018 г.

**Издатель Инновационный центр развития образования и науки
(ИЦРОН), г. Нижний Новгород**

Современные проблемы математических и естественных наук в мире.
Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции.
№ 5. г. Казань, – НН: ИЦРОН, 2018 г. 70 с.

Редакционная коллегия:

кандидат биологических наук Благодатнова Анастасия Геннадьевна (г. Новосибирск), кандидат биологических наук Войтка Дмитрий Владимирович (аг. Прилуки), кандидат физико-математических наук, доцент Казьмин Игорь Александрович (г. Ростов-на-Дону), кандидат физико-математических наук, доцент Кайракбаев АятКрымович (г. Актобе), доктор физико-математических наук, профессор Каленский Александр Васильевич, кандидат биологических наук, доцент Корж Александр Павлович (г. Запорожье), кандидат физико-математических наук Лапушкин Георгий Иванович (г. Долгопрудный), доктор биологических наук Ларионов Максим Викторович (г. Балашов), доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН Лебедев Владимир Ильич (г. Кызыл), доктор биологических наук, профессор Лесовская Марина Игоревна (г. Красноярск), кандидат физико-математических наук, доцент Ловягин Юрий Никитич (г. Санкт-Петербург), кандидат физико-математических наук, член-корреспондент Американского института Аэронавтики и Астронавтики (AIAA) Лукин Александр Николаевич (г. Туапсе), кандидат биологических наук Малыгина Наталья Владимировна (г. Екатеринбург), кандидат физико-математических наук Матвеева Юлия Васильевна (г. Саратов), кандидат биологических наук Мошкина Светлана Владимировна (г. Орел), доктор химических наук, профессор Назарбекова Сауле Полатовна (г. Шымкент), доктор биологических наук, профессор Нурбаев Серик Долдашевич (г. Алматы), доктор биологических наук, профессор Околелова Алла Ароновна (г. Волгоград), кандидат физико-математических наук, доцент Седова Наталия Викторовна (г. Тамбов), кандидат биологических наук, профессор РАН Соловьева Анна Геннадьевна (г. Нижний Новгород), кандидат химических наук Туманов Владимир Евгеньевич (г. Черноголовка), кандидат физико-математических наук, доцент Чочиев Тимофей Захарович (г. Владикавказ), кандидат химических наук, профессор Шпейзер Григорий Моисеевич (г. Иркутск).

В сборнике научных трудов по итогам V Международной научно-практической конференции **«Современные проблемы математических и естественных наук в мире»**, г. Казань представлены научные статьи, тезисы, сообщения аспирантов, соискателей ученых степеней, научных сотрудников, докторантов, преподавателей ВУЗов, студентов, практикующих специалистов в области естественных и математических наук Российской Федерации, а также коллег из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

Статьи, принятые к публикации, размещаются в полнотекстовом формате на сайте eLIBRARY.RU.

Оглавление

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.00.00)	9
МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.00)	9
СЕКЦИЯ №1. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.01)	9
СЕКЦИЯ №2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.02)	9
БИФУРКАЦИИ КВАДРАТИЧНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ЕЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КРИВОЙ 2-ГО ПОРЯДКА Алексеев А.А., Алексеева С.В.	9
ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА СО СТЕПЕННО-ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ Рахмелевич И.В.	14
ЗАДАЧА $\Delta 1$ ДЛЯ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА – ПУАССОНА – ДАБРУ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ Родионова И. Н., Васильева О.А.	17
СЕКЦИЯ №3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.03)	20
СЕКЦИЯ №4. ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.04)	20
СЕКЦИЯ №5. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.05)	20
СЕКЦИЯ №6. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.06)	20
СЕКЦИЯ №7. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.07)	20
СЕКЦИЯ №8. ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.09)	21
МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.00)	21
СЕКЦИЯ №9. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.01)	21
СЕКЦИЯ №10. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.04)	21
СЕКЦИЯ №11. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.05)	21
СЕКЦИЯ №12. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.06)	21

СЕКЦИЯ №13.	
БИОМЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.08)	21
АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.00)	21
СЕКЦИЯ №14.	
АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.01)	21
СЕКЦИЯ №15.	
АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.02)	21
СЕКЦИЯ №16.	
ФИЗИКА СОЛНЦА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.03)	21
СЕКЦИЯ №17.	
ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.04)	21
ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.00)	21
СЕКЦИЯ №18.	
ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.01)	22
ВЫЯВЛЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ АНИЗОТРАПИИ МИКРОВОЛНОВОГО РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗОНДА «PLANCK» НА ЧАСТОТНЫХ КАНАЛАХ 30 и 44 ГГц Варгашкин В.Я, Новикова Е.В.	22
ВЫЯВЛЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ МИКРОВОЛНОВОГО РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗОНДА «WMAP» НА ЧАСТОТНЫХ КАНАЛАХ 33 и 94 ГГц Варгашкин В.Я, Грядунова А.А.	27
СЕКЦИЯ №19.	
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.02)	32
СЕКЦИЯ №20.	
РАДИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.03)	32
СЕКЦИЯ №21.	
ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.04)	32
СЕКЦИЯ №22.	
ОПТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.05)	32
СЕКЦИЯ №23.	
АКУСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.06)	32
СЕКЦИЯ №24.	
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.07)	32
СЕКЦИЯ №25.	
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.08)	32
СЕКЦИЯ №26.	
ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.09)	32
СЕКЦИЯ №27.	
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.10)	33
СЕКЦИЯ №28.	
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.11)	33

СЕКЦИЯ №29. ЭЛЕКТРОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.13)	33
СЕКЦИЯ №30. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.14)	33
СЕКЦИЯ №31. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР, АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.15)	33
СЕКЦИЯ №32. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.16)	33
СЕКЦИЯ №33. ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ, ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.17)	33
СЕКЦИЯ №34. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.18)	33
СЕКЦИЯ №35. ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.20)	33
СЕКЦИЯ №36. ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.21)	33
СЕКЦИЯ №37. ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.23)	33
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.00)	34
СЕКЦИЯ №38. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.01)	34
СЕКЦИЯ №39. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.02)	34
СЕКЦИЯ №40. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.03)	34
СЕКЦИЯ №41. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.04)	34
СЕКЦИЯ №42. ЭЛЕКТРОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.05)	34
ВЛИЯНИЕ ПИРИДИНА НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА НА ЖЕЛЕЗЕ В КИСЛЫХ ХЛОРИДНЫХ СРЕДАХ Кудрявцева Н.М., Балыбин Д.В., Попова О.В., Кузнецова Л.А.	34
СЕКЦИЯ №43. ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.06)	41
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭЛАСТИЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО Минеев А.Е., Рябов С.А.	41

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК Минеев А.Е., Рябов С.А.	43
СЕКЦИЯ №44. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.08).....	46
СЕКЦИЯ №45. ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.09).....	46
СЕКЦИЯ №46. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.10).....	46
СЕКЦИЯ №47. КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.11).....	46
СЕКЦИЯ №48. БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.12).....	46
СЕКЦИЯ №49. НЕФТЕХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.13)	46
СЕКЦИЯ №50. РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.14).....	46
СЕКЦИЯ №51. КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.15).....	46
СЕКЦИЯ №52. МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.16).....	46
СЕКЦИЯ №53. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.17).....	46
СЕКЦИЯ №54. ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.21).....	46
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.00.00)	46
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.00)	46
СЕКЦИЯ №55. РАДИОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.01)	46
СЕКЦИЯ №56. БИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.02)	47
СЕКЦИЯ №57. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.03).....	47
СЕКЦИЯ №58. БИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.04)	47
СЕКЦИЯ №59. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.05).....	47
СЕКЦИЯ №60. БИОТЕХНОЛОГИЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.06).....	47

ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВЫХ И ШТАММОВЫХ РАЗЛИЧИЙ КОЛЛАГЕНОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ Никитина З.К., Гордонова И.К.	47
СЕКЦИЯ №61. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.07).....	50
СЕКЦИЯ №62. БИОИНЖЕНЕРИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.08).....	50
СЕКЦИЯ №63. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.09).....	50
ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.00)	50
СЕКЦИЯ №65. ВИРУСОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.02)	50
СЕКЦИЯ №66. МИКРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.03).....	50
СЕКЦИЯ №67. ЗООЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.04).....	50
СЕКЦИЯ №68. ЭНТОМОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.05).....	50
СЕКЦИЯ №69. ИХТИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.06)	50
СЕКЦИЯ №70. ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.07)	50
СЕКЦИЯ №71. ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.08).....	50
СЕКЦИЯ №72. БИОГЕОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.09).....	50
СЕКЦИЯ №73. ГИДРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.10)	50
СЕКЦИЯ №74. ПАРАЗИТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.11).....	50
СЕКЦИЯ №75. МИКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.12)	51
СЕКЦИЯ №76. ПОЧВОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.13)	51
СЕКЦИЯ №77. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.14).....	51
ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.00)	51
СЕКЦИЯ №78. ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.01)	51
ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТРОМБОЦИТАРНОГО ГЕМОСТАЗА У ПОРОСЯТ В ТЕЧЕНИЕ ФАЗЫ МОЛОЧНО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПИТАНИЯ Ткачева Е.С. ¹ , Завалишина С.Ю. ²	51

СЕКЦИЯ №79.	
АНТРОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.02)	54
СЕКЦИЯ №80.	
ИММУНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.03)	54
СЕКЦИЯ №81.	
КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ, ЦИТОЛОГИЯ, ГИСТОЛОГИЯ	
СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.04)	54
СЕКЦИЯ №82.	
БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ, ЭМБРИОЛОГИЯ(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.05)	54
СЕКЦИЯ №83.	
НЕЙРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.06)	54
ГЕОГРАФИЯ	54
СЕКЦИЯ №84.	
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ,ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ	
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.23)	54
СЕКЦИЯ №85.	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ	
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.24)	54
СЕКЦИЯ №86.	
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ	
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.25)	54
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	54
СЕКЦИЯ №87.	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	54
ГЕОЛОГИЯ	54
СЕКЦИЯ №88.	
РАЗВИТИЕ ГЕОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	55
АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТА В СОСТАВЕ УЧЕБНОЙ	
ДИСЦИПЛИНЫ « ГЕОЛОГИЯ» ПО ПРОФИЛЮ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ	
СТРОИТЕЛЬСТВО В МАЙКОПСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (МГТУ)	
Константинов Ю.А., Синельникова И.Е.	55
ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2018 ГОД	68

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.00.00)

МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.00)

СЕКЦИЯ №1.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.01)

СЕКЦИЯ №2.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.02)

БИФУРКАЦИИ КВАДРАТИЧНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ЕЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КРИВОЙ 2-ГО ПОРЯДКА

Алексеев А.А., Алексеева С.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»,
МГБОУ «Лицей №8», г. Нижний Новгород

Исследованию алгебраических дифференциальных уравнений с алгебраическими интегралами посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных математиков. Этот интерес объясняется тем, что знание даже одной алгебраической интегральной кривой значительно облегчает качественное исследование дифференциального уравнения. При этом квадратичные системы дифференциальных уравнений привлекают особое внимание исследователей ввиду их кажущейся простоты. Так в [1] построено множество квадратичных систем, имеющих своим предельным циклом эллипс. В [2] решается вопрос о числе эллипсов, которые являются интегральными кривыми квадратичного дифференциального уравнения. В [3] дается оценка для числа различных алгебраических интегральных кривых. В [4] дается оценка числа алгебраических предельных циклов алгебраических дифференциальных уравнений.

В настоящей работе рассматривается квадратичная система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = P(x, y) \equiv \sum_{j+k=0}^2 a_{jk} x^j y^k \\ \dot{y} = Q(x, y) = \sum_{j+k=0}^2 b_{jk} x^j y^k \end{cases}, \quad (1)$$

с частным алгебраическим интегралом 2-й степени

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0. \quad (2)$$

В [5] показано, что уравнение нераспадающейся кривой второго порядка (2) с помощью невырожденной линейной замены переменных может быть приведено к виду

$$Z(x, y) \equiv x^2 + ay^2 + 2y = 0. \quad (3)$$

Поскольку система (1) инвариантна относительно линейной замены переменных, будем предполагать, что указанная замена произведена и система (1) имеет частный алгебраический интеграл (3). При изменении знака параметра a происходит изменение типа кривой (3) и бифуркации системы (1).

Известно [6], что система (1) имеет частный алгебраический интеграл (3) в том и только в том случае, если существует полином $M(x, y)$, такой, что имеет место тождество

$$Z'_x P + Z'_y Q \equiv ZM. \quad (4)$$

При этом очевидно, что т.н. кофактор $M(x, y)$ есть многочлен первой степени:

$$M(x, y) = \alpha x + \beta y + \gamma. \quad (5)$$

Найдем условия наличия у системы (1) частного интеграла (3). Подставляя (1), (3) и (5) в (4), получим тождество

$$2x(a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{10}x + a_{01}y + a_{00}) + (2\alpha y + 2\gamma)(b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{10}x + b_{01}y + b_{00}) \equiv (x^2 + ay^2 + 2y)(\alpha x + \beta y + \gamma).$$

Приравнявая здесь коэффициенты при одинаковых степенях x и y в левой и правой частях, получим систему соотношений

$$\begin{aligned} x^3: & \quad 2a_{20} = \alpha; \\ x^2y: & \quad 2a_{11} + 2ab_{20} = \beta; \\ xy^2: & \quad 2a_{02} + 2ab_{11} = \alpha a; \\ y^3: & \quad 2ab_{02} = a\beta; \\ x^2: & \quad 2a_{10} + 2b_{20} = \gamma; \\ xy: & \quad 2a_{01} + 2ab_{10} + 2b_{11} = 2\alpha; \\ y^2: & \quad 2ab_{01} + 2b_{02} = \alpha\gamma + 2\beta; \\ x: & \quad 2a_{00} + 2b_{10} = 0; \\ y: & \quad 2ab_{00} + 2b_{01} = 2\gamma; \\ 1: & \quad 2b_{00} = 0, \end{aligned}$$

откуда находим

$$\begin{aligned} \alpha &= 2a_{20}, \beta = 2b_{02}, a_{11} + ab_{20} = b_{02}, a_{02} + ab_{11} = \alpha a_{20}, \gamma = 2(a_{10} + b_{20}), \\ a_{01} + ab_{10} + b_{11} &= 2a_{20}, ab_{01} + b_{02} = a(a_{10} + b_{20}) + 2b_{02}, a_{00} + b_{10} = 0, \\ b_{01} &= 2(a_{10} + b_{20}), b_{00} = 0. \end{aligned}$$

Следовательно, в системе (1) остаются произвольные коэффициенты $a_{20}, a_{10}, b_{20}, b_{11}, b_{10}, a_{02}, a_{01} + ab_{10} + b_{11}, a_{00} + b_{10}, b_{01} = 2(a_{10} + b_{20}), b_{00} = 0$.

При этом полином $M(x, y)$ имеет вид

$$M(x, y) = 2[a_{20}x + a(a_{10} + b_{20})y + a_{10} + b_{20}].$$

Таким образом, система (1), имеющая частный алгебраический интеграл (3), записывается в виде:

$$\begin{cases} \dot{x} = a_{20}x^2 + aa_{10}xy + a(a_{20} - b_{11})y^2 + a_{10}x + (2a_{20} - b_{11} - ab_{10}) - b_{10} \\ \dot{y} = b_{20}x^2 + b_{11}xy + a(a_{10} + b_{20})y^2 + b_{10}x + 2(a_{10} + b_{20})y \end{cases} \quad (6)$$

Для исследования состояний равновесия системы (6) заметим, что, в силу тождества (4), все они располагаются либо на кривой (3), либо на кофакторе $M(x, y) = 0$. Известно, что если $P(x, y)$ и $Q(x, y)$ взаимно простые полиномы 2-й степени, то кривые 2-го порядка $P(x, y) = 0$ и $Q(x, y) = 0$ имеют в конечной части плоскости не более 4-х точек пересечения, и, следовательно, система уравнений $P(x, y) = 0, Q(x, y) = 0$ имеет не более четырех решений.

Координаты состояний равновесия, расположенных на кривой (3), удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{cases} x^2 + ay^2 + 2y = 0 \\ (a_{10}x - b_{11}y - b_{10})(ay + 1) = 0 \\ x(a_{10}x - b_{11}y - b_{10}) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Здесь могут представиться две возможности:

1). $ay + 1 = 0$. Подставляя $y = -\frac{1}{a}$, $a \neq 0$ в первое уравнение системы (7), находим $x^2 = \frac{1}{a}$. Следовательно, при $a > 0$ точки $M_1\left(\frac{1}{\sqrt{a}}, -\frac{1}{a}\right), M_2\left(-\frac{1}{\sqrt{a}}, -\frac{1}{a}\right)$ могут являться состояниями равновесия системы (6) на кривой $Z(x, y) = 0$ только при выполнении условий

$$\pm \frac{a_{10}}{\sqrt{a}} + \frac{b_{11}}{a} - b_{10} = 0.$$

Если $a_{10} \neq 0$, то эти равенства могут выполняться только при различных значениях параметра a , поэтому только одна из точек M_1, M_2 будет состоянием равновесия системы (6).

Если $a_{10} = 0$, то при $a = -\frac{b_{10}}{b_{11}}$ обе точки являются состояниями равновесия, а при $a \neq -\frac{b_{10}}{b_{11}}$ на кривой (3) нет состояний равновесия системы (6).

2). $ay + 1 \neq 0$. Тогда из (7) получаем

$$\begin{cases} a_{10}x - b_{11}y - b_{10} = 0 \\ x^2 + ay^2 + 2y = 0 \end{cases}.$$

а). Пусть $a_{10} \neq 0$, тогда $x = \frac{b_{11}y + b_{10}}{a_{10}}$ и

$$\left(\frac{b_{11}y+b_{10}}{a_{10}}\right)^2 + ay^2 + 2y = 0, \text{ или} \\ y^2(b_{11}^2 + aa_{10}^2) + 2y(a_{10}^2 + b_{11}b_{10}) + b_{10}^2 = 0. \quad (8)$$

Уравнение (8) имеет не более двух корней y_1, y_2 при выполнении условия

$$(a_{10}^2 + b_{11}b_{10})^2 - b_{10}^2(b_{11}^2 + aa_{10}^2) = a_{10}^2(a_{10}^2 + 2b_{11}b_{10} - ab_{10}^2) \geq 0. \quad (9)$$

Следовательно, всего на кривой (3) могут располагаться не более 2-х состояний равновесия системы (6).

б). Если $a_{10} = 0$, то $y = -\frac{b_{10}}{b_{11}}$ и $x^2 = 2\frac{b_{10}}{b_{11}} - a\left(\frac{b_{10}}{b_{11}}\right)^2$, т.е. и в этом случае на кривой (3) не более двух состояний равновесия.

Координаты состояний равновесия, расположенных на кофакторе, удовлетворяют уравнению

$$a_{20}x + (a_{10} + b_{20})(ay + 1) = 0. \quad (10)$$

1). Если $a_{20} = 0$ и $a_{10} + b_{20} = 0$, то имеем тождество

$$Z'_x P + Z'_y Q \equiv 0,$$

и, следовательно, система (6) имеет первый интеграл

$$x^2 + ay^2 + 2y = C.$$

2). Если $a_{20} = 0$ и $a_{10} + b_{20} \neq 0$, то $y = -\frac{1}{a}$. Подставляя в первое уравнение системы

$$\begin{cases} a_{20}x^2 + aa_{10}xy + a(a_{20} - b_{11})y^2 + a_{10}x + (2a_{20} - b_{11} - ab_{10}) - b_{10} = 0 \\ b_{20}x^2 + b_{11}xy + a(a_{10} + b_{20})y^2 + b_{10}x + 2(a_{10} + b_{20})y = 0 \end{cases}, \quad (11)$$

получим верное равенство. Из второго уравнения системы (11) получаем

$$ab_{20}x^2 - x(b_{11} - ab_{10}) - (a_{10} + b_{20}) = 0. \quad (12)$$

Если при некотором значении параметра a выполняется неравенство

$$(b_{11} - ab_{10})^2 + 4ab_{20}(a_{10} + b_{20}) > 0.$$

то уравнение (12) имеет 2 корня x_1, x_2 и потому система (6) имеет два состояния равновесия на кофакторе

$$M(x, y) = 0: N_1\left(x_1, -\frac{1}{a}\right), N_2\left(x_2, -\frac{1}{a}\right).$$

3). Если $a_{20} \neq 0$, то из (10) находим

$$x = -\frac{(ay+1)(a_{10}+b_{20})}{a_{20}}.$$

Из системы (11) получаем систему уравнений

$$\begin{cases} (ay + 1)(a_{20}y - b_{11}y - b_{20}x - b_{10}) + a_{20}y = 0 \\ -x(a_{20}y - b_{11}y - b_{20}x - b_{10}) + y(a_{10} + b_{20}) = 0 \end{cases}.$$

Отсюда получаем квадратное уравнение относительно y , которое может иметь не более двух корней. Следовательно, система (6) может иметь на кофакторе $M(x, y) = 0$ не более двух состояний равновесия.

Таким образом, система (6) имеет в конечной части плоскости не более четырех состояний равновесия.

В данной работе проводится качественное исследование системы (6) и строятся фазовые портреты с помощью программы WinSet [7] при $a = 1, a = 0$ и $a = -1$ для следующих случаев:

1. Интегральная кривая (3) не примыкает к состояниям равновесия и является при $a > 0$ простым предельным циклом, т.е. нарушается неравенство (9) (обыкновенный случай).
2. Интегральная кривая (3) примыкает к состояниям равновесия и является при $a > 0$ особым циклом, т.е. выполняется условие (9) (Особый случай).
3. $M(x, y) \equiv 0$, система (6) является алгебраически интегрируемой, а кривая (3) при $a > 0$ есть одна из кривых семейства замкнутых траекторий (Консервативный случай).

1. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + axy + 2ay^2 + x + (3 - a)y - 1 \\ \dot{y} = -xy + ay^2 + x + 2y \end{cases}, \quad (13)$$

которая получается из (6) при

$$a_{20} = 1, a_{10} = 1, b_{11} = -1, b_{10} = 1, b_{20} = 0.$$

Поскольку условие (9) для системы (15) при $a > 0$ не выполняется:

$$-1 - a < 0,$$

то система (13) не имеет состояний равновесия на кривой $Z(x, y) = 0$.

1). При $a = 1$ имеем систему уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + xy + 2y^2 + x + 2y - 1 \\ \dot{y} = -xy + y^2 + x + 2y \end{cases}, \quad (14)$$

которая имеет два состояния равновесия на кофакторе $x + y + 1 = 0$:

$M_1\left(\frac{-1+\sqrt{3}}{2}, \frac{-1-\sqrt{3}}{2}\right)$ - устойчивый фокус и $M_2\left(\frac{-1-\sqrt{3}}{2}, \frac{-1+\sqrt{3}}{2}\right)$ - седло. При этом кривая $x^2 + y^2 + 2y = 0$ является неустойчивым предельным циклом системы (14) (рис. 1)

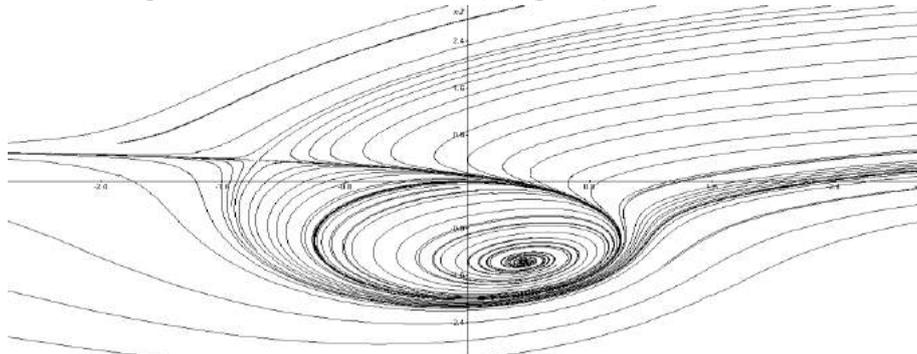


Рис. 1.

2). При $a=0$ имеем систему уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + x + 2y - 1 \\ \dot{y} = -xy + x + 2y \end{cases}, \quad (15)$$

состояния равновесия которой также расположены только на кофакторе $x + 1 = 0$.

Следовательно, единственным состоянием равновесия системы (15) является точка $M\left(-1, \frac{1}{3}\right)$ - седло (рис. 2).

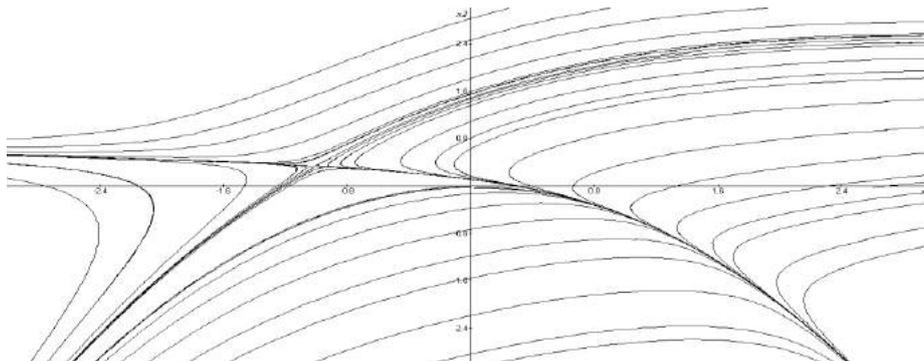


Рис. 2

3). При $a = -1$ имеем систему уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 - xy - 2y^2 + x + 4y - 1 \\ \dot{y} = -xy - y^2 + x + 2y \end{cases}, \quad (16)$$

состояния равновесия которой также расположены только на кофакторе $x - y + 1 = 0$.

Система (16) имеет в конечной части плоскости два состояния равновесия типа седло:

$M_1\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1+\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)$, $M_2\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}}\right)$ (рис. 3).

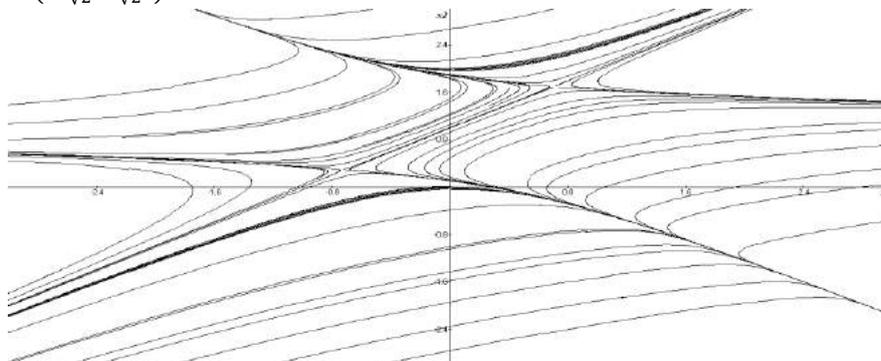


Рис. 3

2. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + axy + x + y \\ \dot{y} = x^2 + xy + 2ay^2 + 4y \end{cases} \quad (17)$$

которая получается из (6) при

$$b_{10} = 0, \quad a_{20} = a_{10} = b_{11} = b_{20} = 1.$$

Поскольку условие (9) для системы (17) при $a > 0$ выполнено, то ее состояния равновесия могут располагаться как на кривой (3), так и на кофакторе

$$M(x, y) \equiv 2(x + 2ay + 2) = 0.$$

При этом $O(0,0)$ есть состояние равновесия системы (17), к которому примыкает кривая (3), типа неустойчивый узел при любых значениях параметра a . Кроме того, на кривой (3) располагается состояние равновесия $N(-\frac{2}{a+1}, -\frac{2}{a+1})$ системы (17) типа устойчивый узел при $a > -1$, и типа седло при $a < -1$.

На кофакторе при $a = 0$ имеем сложное состояние равновесия $M(-2, -2)$.

При $a \neq 0, a > -\frac{1}{8}$ имеем два состояния равновесия типа седло:

$$N_1\left(\frac{1 - \sqrt{8a + 1}}{2a}, \frac{-4a - 1 + \sqrt{8a + 1}}{4a^2}\right), N_2\left(\frac{1 + \sqrt{8a + 1}}{2a}, \frac{-4a - 1 - \sqrt{8a + 1}}{4a^2}\right).$$

1). При $a = 1$ получаем систему

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + xy + x + y \\ \dot{y} = x^2 + xy + 2y^2 + 4y \end{cases}$$

имеющую четыре состояния равновесия: узлы $O(0,0)$ и $M(-1,-1)$, седла $N_1(-1, -\frac{1}{2})$ и $N_2(2, -2)$. Картина расположения интегральных кривых изображена на рис. 4.

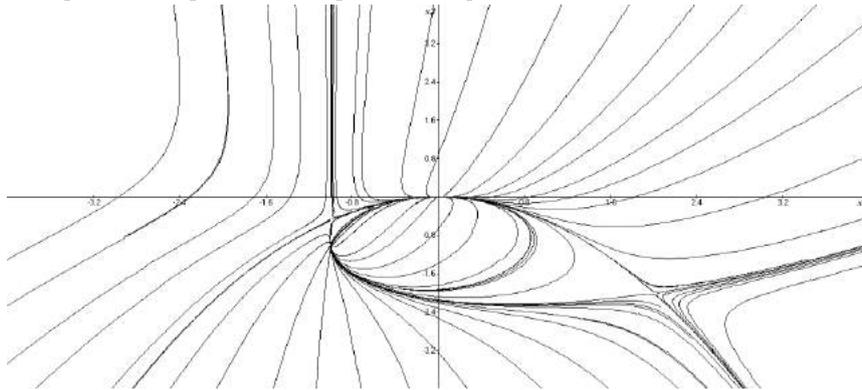


Рис. 4.

2). При $a = 0$ получаем систему

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 + x + y \\ \dot{y} = x^2 + xy + 4y \end{cases}$$

имеющую неустойчивый узел $O(0,0)$ и сложное состояние равновесия $M(-2,-2)$ (рис. 5).

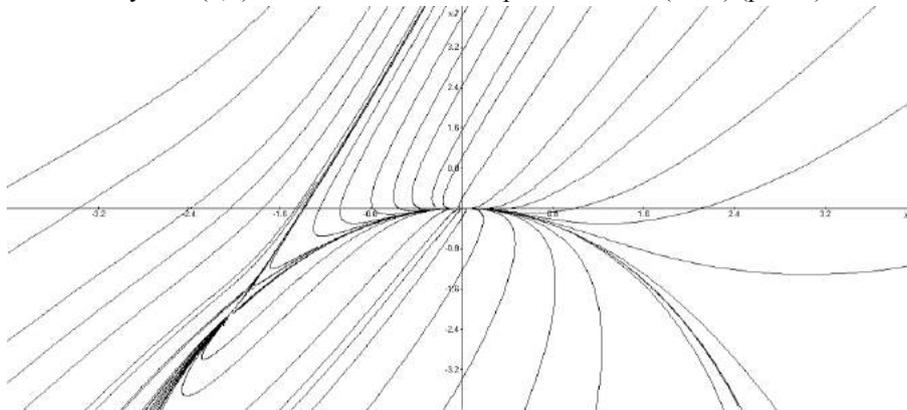


Рис. 5.

3). При $a = -1$ получаем систему

$$\begin{cases} \dot{x} = x^2 - xy + x + y \\ \dot{y} = x^2 + xy - 2y^2 + 4y \end{cases}$$

имеющую единственное состояние равновесия $O(0,0)$ типа неустойчивый узел (рис. 6).

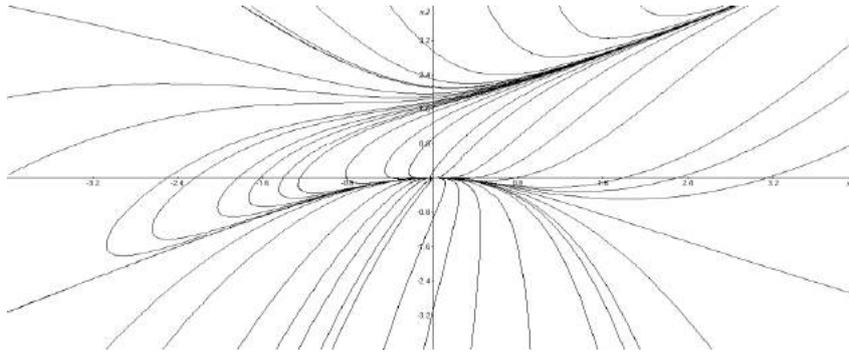


Рис. 6.

3. Если $M(x, y) \equiv 0$, т. е., $a_{20} = 0, b_{20} = -a_{10}$, то систему (6) можно записать в виде

$$\begin{cases} \dot{x} = (ay + 1)(a_{10}x - b_{11}y - b_{10}) \\ \dot{y} = -x(a_{10}x - b_{11}y - b_{10}) \end{cases} \quad (18)$$

Система (18) фактически не является квадратичной. Она имеет особую прямую $a_{10}x - b_{11}y - b_{10} = 0$, вне которой система – линейная с первым интегралом

$$x^2 + ay^2 + 2y = C.$$

Бифуркации системы (6) и ее интегральной кривой (3) в каждом из рассмотренных случаев можно наблюдать в динамике, если построить фазовые портреты для значений параметра a из некоторого промежутка с достаточно малым шагом и воспользоваться проигрывателем WindowsMedia.

Список литературы

1. Цинь Юань-сюнь. Об алгебраических предельных циклах второго порядка для дифференциального уравнения $\frac{dy}{dx} = \frac{\sum_{0 \leq i+j \leq 2} a_{ij}x^i y^j}{\sum_{0 \leq i+j \leq 2} b_{ij}x^i y^j}$ // Шуюэ сюэбао Actamath. Sinica. 1958. Т.8, №1. С.23-25.
2. Дружкова Т.А. Об одном дифференциальном уравнении с алгебраическими интегралами // Дифференциальные уравнения. 1975.-11, №2. С. 262-267.
3. Долов М.В. О числе алгебраических инвариантных кривых полиномиальных векторных полей // Дифференциальные уравнения. 2004. Т.40, №6. С. 838-839.
4. Баутин Н.Н. Оценка числа алгебраических предельных циклов системы $x' = P(x, y), y' = Q(x, y)$ с алгебраическими правыми частями // Дифференциальные уравнения. 1980. Т. 16, №2. С. 362.
5. Алексеев А.А. Кубические системы дифференциальных уравнений с интегрирующим множителем, сингулярным вдоль кривой второго порядка // Деп. ВВИНТИ 19.10.04 №1637-В2004, 19 с.
6. Dana Schlomiuk. Algebraic and Geometric Aspects of the Theory of Polynomial Vector Fields // Proceedings of the NATO ASI. 1993.
7. Морозов А.Д., Драгунов Т.Н. Визуализация и анализ инвариантных множеств динамических систем. М.- Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.

ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА СО СТЕПЕННО-ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Рахмелевич И.В.

ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
г. Нижний Новгород

Аннотация. Исследованы решения двумерного гиперболического уравнения в частных производных второго порядка, содержащего произвольные степени от неизвестной функции и ее первых производных, и логарифм от неизвестной функции. С помощью метода разделения переменных найдены некоторые частные

решения специального вида для данного уравнения. Получено условие на параметры уравнения, при котором возможно разделение переменных. Исследована зависимость решений от параметров уравнения.

Ключевые слова: уравнение в частных производных, степенная нелинейность, логарифмическая нелинейность, разделение переменных, обыкновенное дифференциальное уравнение.

Введение

Теория нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных является важным направлением современной математической физики [1-3]. Многие современные работы посвящены исследованию уравнений со степенными нелинейностями по искомой функции и ее производным [4-9,13,14]. Также в ряде работ исследованы решения уравнений с логарифмическими нелинейностями по неизвестной функции и нелинейностями вида $u \ln u$ [2,10,11]. Целью данной работы является нахождение решений двумерного гиперболического уравнения второго порядка, содержащего произвольные степени от неизвестной функции и ее первых производных и логарифм от неизвестной функции. В основном разделе статьи представлена общая постановка задачи и получены частные решения рассматриваемого уравнения с помощью метода функционального разделения переменных [1-3,12]. Также получено условие на параметры уравнения, при котором оно допускает разделение переменных. Исследована зависимость решений от параметров уравнения.

Постановка задачи. Основные результаты

Рассмотрим гиперболическое уравнение в частных производных второго порядка относительно неизвестной функции $u(x, y)$:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} = f(x, y) (\ln u + 1) u^\gamma \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^{\beta_1} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^{\beta_2}, \quad (1)$$

где β_1, β_2, γ – параметры уравнения, $f(x, y)$ – заданная функция.

Теорема 1.

Пусть для уравнения (1) удовлетворяются условия:

$$\beta_1 + \beta_2 + \gamma = 1, \quad f(x, y) = f_1(x) f_2(y), \quad \beta_{1,2} \neq 1. \quad (2)$$

Тогда это уравнение имеет следующие решения:

1) При $\tilde{\beta}_\Sigma \neq 0$

$$u(x, y) = \exp \left\{ \left[\frac{\tilde{\beta}_\Sigma}{\tilde{\beta}_1} \left(\int [f_1(x)]^{-1/\tilde{\beta}_1} dx + X_0 \right) \right]^{\tilde{\beta}_1/\tilde{\beta}_\Sigma} \left[\frac{\tilde{\beta}_\Sigma}{\tilde{\beta}_2} \left(\int [f_2(y)]^{-1/\tilde{\beta}_2} dy + Y_0 \right) \right]^{\tilde{\beta}_2/\tilde{\beta}_\Sigma} \right\}; \quad (3)$$

2) При $\tilde{\beta}_\Sigma = 0$

$$u(x, y) = \exp \left\{ C_0 \exp \left(\lambda_1 \int [f_1(x)]^{-1/\tilde{\beta}_1} dx + \lambda_2 \int [f_2(y)]^{-1/\tilde{\beta}_2} dy \right) \right\}. \quad (4)$$

Здесь использованы обозначения $\beta_\Sigma = \beta_1 + \beta_2$, $\tilde{\beta}_\Sigma = \beta_\Sigma - 1$, $\tilde{\beta}_{1,2} = \beta_{1,2} - 1$; также X_0, Y_0 ,

C_0 – произвольные постоянные; λ_1, λ_2 – постоянные, удовлетворяющие условию:

$$\lambda_1^{\tilde{\beta}_1} \lambda_2^{\tilde{\beta}_2} = 1. \quad (4a)$$

Доказательство.

Решение уравнения (1) будем искать в виде:

$$u(x, y) = \exp \{ X(x) Y(y) \}; \quad (5)$$

Подставляя функцию (5) в уравнение (1), находим:

$$X'(x) Y'(y) = f_1(x) f_2(y) \exp \{ (\beta_\Sigma + \gamma - 1) X(x) Y(y) \} [X'(x) Y(y)]^{\beta_1} [X(x) Y'(y)]^{\beta_2} \quad (6)$$

Учитывая первое из условий (2), преобразуем уравнение (6) к виду:

$$\left\{ f_1(x)[X'(x)]^{\beta_1-1}[X(x)]^{\beta_2} \right\} \left\{ f_2(y)[Y'(y)]^{\beta_2-1}[Y(y)]^{\beta_1} \right\} = 1. \quad (7)$$

Левая часть уравнения (7) представлена в виде произведения сомножителей, зависящих от разных переменных. Поэтому, применяя стандартную процедуру разделения переменных, получаем:

$$f_1(x)[X'(x)]^{\beta_1-1}[X(x)]^{\beta_2} = \lambda_1^{\beta_1-1}, \quad f_2(y)[Y'(y)]^{\beta_2-1}[Y(y)]^{\beta_1} = \lambda_2^{\beta_2-1}, \quad (8)$$

где λ_1, λ_2 – некоторые постоянные, удовлетворяющие условию (4а).

В результате элементарных преобразований уравнения (8) можно переписать в виде:

$$X'(x)[X(x)]^{\tilde{\beta}_\Sigma/\tilde{\beta}_1-1} = \lambda_1[f_1(x)]^{-1/\tilde{\beta}_1}, \quad Y'(y)[Y(y)]^{\tilde{\beta}_\Sigma/\tilde{\beta}_2-1} = \lambda_2[f_2(y)]^{-1/\tilde{\beta}_2} \quad (9)$$

Решая уравнения (9), получаем:

$$X(x) = \left[\frac{\tilde{\beta}_\Sigma}{\tilde{\beta}_1} \lambda_1 \left(\int [f_1(x)]^{-1/\tilde{\beta}_1} dx + X_0 \right) \right]^{\tilde{\beta}_1/\tilde{\beta}_\Sigma} \quad \text{при } \tilde{\beta}_\Sigma \neq 0, \quad (10a)$$

$$X(x) = X_0 \exp(\lambda_1 \int [f_1(x)]^{-1/\tilde{\beta}_1} dx) \quad \text{при } \tilde{\beta}_\Sigma = 0; \quad (10б)$$

$$Y(y) = \left[\frac{\tilde{\beta}_\Sigma}{\tilde{\beta}_2} \lambda_2 \left(\int [f_2(y)]^{-1/\tilde{\beta}_2} dy + Y_0 \right) \right]^{\tilde{\beta}_2/\tilde{\beta}_\Sigma} \quad \text{при } \tilde{\beta}_\Sigma \neq 0, \quad (11a)$$

$$Y(y) = Y_0 \exp(\lambda_2 \int [f_2(y)]^{-1/\tilde{\beta}_2} dy) \quad \text{при } \tilde{\beta}_\Sigma = 0. \quad (11б)$$

Здесь X_0, Y_0 – произвольные постоянные. Подставляя (10а,б), (11а,б) в (5), учитывая условие (4а) и вводя новую произвольную постоянную $C_0 = X_0 Y_0$, получаем решения уравнения (1) в виде (3), (4). Теорема доказана.

Таким образом, в данной работе исследовано двумерное гиперболическое неавтономное уравнение в частных производных второго порядка со степенно-логарифмической нелинейностью. Доказана теорема, определяющая решения этого уравнения при функциональном разделении переменных, а также исследована зависимость вида решения от параметров уравнения. Результаты работы могут быть обобщены на более сложные уравнения.

Список литературы

1. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по дифференциальным уравнениям с частными производными первого порядка. – М.: Физматлит. – 2003. – 416 с.
2. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики: точные решения. – М.: Физматлит. – 2002. – 432 с.
3. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф., Журов А.И. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики. – М.: Физматлит. – 2005. – 256 с.
4. Галактионов В.А., Посашков С.А., Свирщевский С.Р. Обобщенное разделение переменных для дифференциальных уравнений с полиномиальными правыми частями // Дифференциальные уравнения. 1995. – Т. 31. – № 2. – С.253-261.
5. Рахмелевич И.В. О двумерных гиперболических уравнениях со степенной нелинейностью по производным // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2015. – № 1. – С. 12-19.
6. Рахмелевич И.В. О многомерных уравнениях в частных производных со степенными нелинейностями по первым производным // Уфимский математический журнал. — 2017. – Т.9. – № 1. – С. 98-109.
7. Рахмелевич И.В. О решениях многомерного дифференциального уравнения произвольного порядка со смешанной старшей частной производной и степенными нелинейностями // Владикавказский математический журнал. – 2016. – Т.18. – № 4. – С. 41-49.
8. Рахмелевич И.В. О редукции многомерных уравнений первого порядка с мультиоднородной

- функцией от производных // Известия вузов. Математика. – 2016. – № 4. – С.57-67.
9. Рахмелевич И.В. О решениях многомерного уравнения Клеро с мультиоднородной функцией от производных. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2014. – Т. 14. – № 4-1. – С. 374-381.
 10. Самарский А.А., Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Михайлов А.П. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений. М.: Наука. – 1987. – 480 с.
 11. Дородницын В.А. Об инвариантных решениях уравнения нелинейной теплопроводности с источником. // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1982. – Т.22. – №6. – С.1393-1400.
 12. Полянин А.Д., Журов А.И. Обобщенное и функциональное разделение переменных в математической физике и механике// Доклады РАН. – 2002.–Т. 382. –№ 5. – С.606-611.
 13. Рахмелевич И.В. О псевдополиномиальных решениях двумерного уравнения, содержащего произведение частных производных // Научные ведомости Белгородского университета. Математика. Физика. 2017. Вып. 47, №13. С. 45–50.
 14. Рахмелевич И.В. Многомерное неавтономное уравнение, содержащее произведение степеней частных производных // Вестник СПбГУ. Математика. Механика. Астрономия. 2018.Т. 5 (63). Вып. 1. С. 119–130. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu01.2018.113>

ЗАДАЧА Δ_1 ДЛЯ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА – ПУАССОНА – ДАБРУ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

Родионова И. Н., Васильева О.А.

ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет, г. Самара

Аннотация

Обобщенное уравнение Эйлера – Дарбу рассматривается в прямоугольной области, представляющей объединение четырех характеристических треугольников данного уравнения и содержащей внутри себя две линии сингулярности коэффициентов. Поставлена задача с граничными условиями на одной стороне прямоугольника и на половине смежной стороны. На линиях сингулярности коэффициентов уравнения $\xi = \pm \eta$ и на внутренней характеристике $\eta = 0$ задаются условия сопряжения непрерывные относительно искомого решения и разрывные относительно его нормальных производных. Задача сводится к однозначно разрешаемой системе интегральных уравнений Вольтерры с несверточными операторами.

$$\text{Уравнение } U_{\xi\eta} - \frac{pU_{\xi}}{\eta - (sgn\eta)\xi} + \frac{pU_{\eta}}{(sgn\eta)\eta - \xi} - (sgn\eta)\lambda U = 0 \quad (1)$$

($0 < p < \frac{1}{2}$, $p, \lambda - const$) рассмотрим на множестве $D = D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4$, где

$$D_1 = \{(\xi, \eta) | 0 < \xi < \eta < h\}, D_2 = \{(\xi, \eta) | 0 < \eta < \xi < h\},$$

$$D_3 = \{(\xi, \eta) | 0 < -\eta < \xi < h\}, D_4 = \{(\xi, \eta) | 0 < \xi < -\eta < h\}, h > 0.$$

Задача Δ_1 . На множестве D найти решение уравнения (1), непрерывное в \bar{D} , удовлетворяющее условиям:

$$U(\xi, h) = \varphi(\xi), 0 \leq \xi \leq h; \quad (2)$$

$$U(h, \eta) = \psi(\eta), -h \leq \eta \leq 0. \quad (3)$$

На линиях сингулярности коэффициентов уравнения (1) и на характеристике $\eta = 0$ задаются условия сопряжения

$$v_1(\xi) = \lim_{\eta \rightarrow \xi+0} (\eta - \xi)^{-2p} (U_{\xi} - U_{\eta}) = - \lim_{\eta \rightarrow \xi-0} (\xi - \eta)^{-2p} (U_{\xi} - U_{\eta}) = -v_2(\xi), \quad (4)$$

$$v_3(\xi) = \lim_{-\eta \rightarrow \xi-0} (\xi + \eta)^{-2p} (U_{\xi} + U_{\eta}) = - \lim_{-\eta \rightarrow \xi+0} (-\eta - \xi)^{-2p} (U_{\xi} + U_{\eta}) = -v_4(\xi), \quad (5)$$

$$\lim_{\eta \rightarrow 0+0} \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} - \frac{\partial U}{\partial \xi} \right) = \lim_{\eta \rightarrow 0-0} \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{\partial U}{\partial \eta} \right). \quad (6)$$

На задание функции φ и ψ налагаются:

Условие А.

1) Имеют место представления:

$$\varphi(\xi) = (\eta - \xi)^{2+p+\varepsilon_1} \varphi_1(\xi), \quad \varepsilon_1 > 0, \varphi_1(\xi) \in C^{(2)}[0, h];$$

$$\psi(-\eta) = (h - \eta)^{2+p+\varepsilon_2} \psi_1(\xi), \quad \varepsilon_2 > 0, \psi_1(\eta) \in C^{(2)}[0, h],$$

$$2) \varphi(0) = \varphi'(0) = \psi(0) = \psi'(0).$$

3) Выполняются условия ортогональности

$$\int_0^h \varphi(s)(h-s)^{-2-p} ds = 0, \int_0^h \psi(-s)(h-s)^{-2-p} ds.$$

За основу решения задачи Δ_1 возьмем, полученное в работах [1,2] решение задачи Коши для уравнения (1) в области D_1 специального класса. В области D_1 оно имеет вид:

$$U(\xi, \eta) = \int_{\eta}^h T_1(s)(s-\xi)^p (s-\eta)^p {}_0F_1(1+p, \lambda(s-\xi)(s-\eta)) ds + \\ + \int_{\xi}^h N_1(s)(\eta-s)^p (s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(\eta-s)(s-\xi)) ds, \quad (7)$$

$${}_0F_1(\alpha, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{(\alpha)_n n!}.$$

$$\lim_{\eta \rightarrow \xi+0} \int_{\xi}^h T_1(s)(s-\xi)^{2p} {}_0F_1(1+p, -\lambda(s-\xi)^2) ds,$$

$$N_1(s) = k_1 T_1(s) - k_2 v_1(s), \quad k_1 = \frac{1}{\cos \pi p}, \quad k_2 = \frac{\Gamma(1+2p)}{2\Gamma^2(1+p)} \quad (8)$$

Аналогичные формулы получаем в остальных трех областях. В области D_1 :

$$U(\xi, \eta) = \int_{\eta}^h T_1(s)(s-\xi)^p (s-\eta)^p {}_0F_1(1+p, \lambda(s-\xi)(s-\eta)) ds + \\ + \int_{\xi}^h N_1(s)(\eta-s)^p (s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(\eta-s)(s-\xi)) ds, \quad (9)$$

$$N_1(s) = k_1 T_1(s) - k_2 v_1(s); \quad (10)$$

В области D_1 :

$$U(\xi, \eta) = \int_{\eta}^h T_1(s)(s-\xi)^p (s-\eta)^p {}_0F_1(1+p, \lambda(s-\xi)(s-\eta)) ds + \\ + \int_{\xi}^h N_1(s)(\eta-s)^p (s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(\eta-s)(s-\xi)) ds, \quad (11)$$

$$N_1(s) = k_1 T_1(s) - k_2 v_1(s); \quad (12)$$

В области D_1 :

$$U(\xi, \eta) = \int_{\eta}^h T_1(s)(s-\xi)^p (s-\eta)^p {}_0F_1(1+p, \lambda(s-\xi)(s-\eta)) ds + \\ + \int_{\xi}^h N_1(s)(\eta-s)^p (s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(\eta-s)(s-\xi)) ds, \quad (13)$$

$$N_1(s) = k_1 T_1(s) - k_2 v_1(s). \quad (14)$$

Из единственности решения на линиях $\eta = \xi$ и $\eta = -\xi$, условий сопряжения (4), (5), а так же формул (7) – (14), получаем, что

$$N_1 = N_2, N_3 = N_4, T_1 = T_2, T_3 = T_4. \quad (15)$$

Неизвестные функции $N_k, T_k, k = 1, 3$, будем искать в классе непрерывных в интервале $(0, h)$ функций и абсолютно интегрируемых на сегменте $[0, h]$. Тогда, как показано в работе [3], функции (7), (9), (11), (13) определяют классическое решение уравнения (1) в соответствующих областях. Подчиняя

функции (7), (11) условиям (2), (3) соответственно получаем интегральное уравнение относительно N_k :

$$\int_{\xi}^h N_1(s)(h-s)^p(s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(h-s)(s-\xi))ds = \varphi(\xi), \quad (16)$$

$$\int_{-\eta}^h N_2(s)(h-s)^p(s+\eta)^p {}_0F_1(1+p, -\lambda(h-s)(s+\eta))ds = \psi(\xi), \quad (17)$$

единственное решение которых получено в работе [2].
 A_1 получаем:

При выполнении условия

$$N_1(x) = \frac{(h-x)^{-p}}{\Gamma(1+p)\Gamma(1-p)} \left[\int_x^h \varphi''(s)(s-x)^{-p} {}_0F_1(1-p, \lambda(s-x)(h-x))ds - \right. \\ \left. - \frac{\lambda}{1-p} \int_x^h \varphi'(s)(s-x)^{1-p} {}_0F_1(2-p, \lambda(s-x)(h-x))ds \right], \quad (18)$$

$$N_3(x) = \frac{(h-x)^{-p}}{\Gamma(1+p)\Gamma(1-p)} \left[\int_x^h \psi''(-s)(s-x)^{-p} {}_0F_1(1-p, \lambda(s-x)(h-x))ds - \right. \\ \left. - \frac{\lambda}{1-p} \int_x^h \psi'(-s)(s-x)^{1-p} {}_0F_1(2-p, \lambda(s-x)(h-x))ds \right]. \quad (19)$$

Из непрерывности решения на $\eta = 0$ и условия сопряжение (6) имеем:

$$\int_{\xi}^h [T_1(s) - T_3(s)]s^p(s-\xi)^p {}_0F_1(1+p, \lambda s(s-\xi))ds = \\ = \int_0^{\xi} [N_1(s) - N_3(s)]s^p(\xi-s)^p {}_0F_1(1+p, \lambda s(s-\xi))ds, \quad (20)$$

$$\int_{\xi}^h [T_1(s) + T_3(s)]s^{p-1}(s-\xi)^{p-1} {}_0F_1(p, \lambda s(s-\xi))ds = \\ = \int_0^{\xi} [N_1(s) + N_3(s)]s^{p-1}(\xi-s)^{p-1} {}_0F_1(p, \lambda s(s-\xi))ds. \quad (20)$$

Полученные соотношения рассмотрим как уравнение относительно $T_1 \pm T_3$, в правых частях которых стоят уже известные выражения, содержащие найденные функции N_1, N_3 , определяемые формулами (18), (19) соответственно. Обозначим правые части уравнений (20), (21) через $\Phi_1(\xi)$, $\Phi_2(\xi)$. Для обозначенной разрешаемости уравнений (20), (21) в указанном классе функций достаточно потребовать от функции Φ_1 и Φ_2 выполнения условий:

Условие В. $\Phi_1(h) = \Phi_2(h) = \Phi_1' = 0$;

$\Phi_1 \in C^{(2)}(0, h)$, Φ_1' абсолютно интегрируема на $[0, h]$,

$\Phi_2 \in C^{(1)}(0, h)$, Φ_2' абсолютно интегрируема на $[0, h]$.

Проверка показала, что выполнение условий А обеспечивает выполнение условий В. Решение каждого из уравнений (20), (21) запишем через функции Φ_1, Φ_2 :

$$T_1(x) + T_3(x) = \\ = -\frac{x^{1-p}}{\Gamma(1+p)\Gamma(1-p)} \left[\int_x^h \Phi_2'(s)(s-x)^{-p} {}_0F_1(1-p, -\lambda x(s-x))ds + \right. \\ \left. + \frac{\lambda}{1-p} \int_x^h \Phi_2(s)(s-x)^{1-p} {}_0F_1(2-p, -x\lambda(s-x))ds \right] \\ T_1(x) - T_3(x) = \quad (22)$$

$$= -\frac{x^{-p}}{\Gamma(1+p)\Gamma(1-p)} \left[\int_x^h \Phi_1''(s)(s-x)^{-p} {}_0F_1(1-p, -\lambda x(s-x)) ds + \right. \\ \left. + \frac{\lambda}{1-p} \int_x^h \Phi_1'(s)(s-x)^{1-p} {}_0F_1(2-p, -x\lambda(s-x)) ds \right] \quad (23)$$

Складывая и вычитая равенства (22), (23) получим T_1 и T_3 . В интегралы, содержащие Φ_1 , Φ_2 подставим найденные выражения N_1 , N_3 из формул (18), (19). В силу громоздкости записи эти вычисления опускаем. Отметим, что при выполнении условий А функции N_1 , N_3 непрерывны на $[0, h]$, T_1 , T_3 непрерывны на $(0, h]$, в точке $x = 0$ имеют интегрируемую особенность. Решение задачи Δ_1 может быть получено в явном виде, если найденные значения $N_1 = N_2$, $N_3 = N_4$, $T_1 = T_2$, $T_3 = T_4$ подставить в формулы (7), (9), (11), (13). Единственность задачи Δ_1 следует из единственности решения задачи Коши методом Римана [1], которое было взято за основу и однозначной разрешимости всех интегральных уравнений, появляющихся в процессе решения. Существование доказано проверкой.

Список литературы

1. Долгополов В. М., Долгополов М. В., Родионова И. Н. «Построение специальных классов решений некоторых дифференциальных уравнений гиперболического типа». Доклад Академии наук, 2009, т. 429, №5, с. 583 – 589.
2. Долгополов В. М., Родионова И. Н. «Задачи для уравнений гиперболического типа на плоскости и в трехмерном пространстве с условием сопряжения на характеристике». Известия Российской Академии наук, Сер.математика, 2011, т. 75, № 4, с.21 – 28.
3. Долгополов В. М., Родионова И. Н. «Экспериментальные свойства решений специальных классов одного уравнения гиперболического типа». Математические заметки, том 92, выпуск 4, 2012, с. 533 – 540.
4. Васильева О. А., Родионова И. Н. «Для обобщенного уравнения Эйлера – Дарбу задача с нестандартными условиями сопряжения на характеристической линии». ScienceTime, 2016 № 5(29). С. 116 – 124.

СЕКЦИЯ №3.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.03)

СЕКЦИЯ №4.

ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.04)

СЕКЦИЯ №5.

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.05)

СЕКЦИЯ №6.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.06)

СЕКЦИЯ №7.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.07)

**СЕКЦИЯ №8.
ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.09)**

МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.00)

**СЕКЦИЯ №9.
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.01)**

**СЕКЦИЯ №10.
МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
01.02.04)**

**СЕКЦИЯ №11.
МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.05)**

**СЕКЦИЯ №12.
ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.06)**

**СЕКЦИЯ №13.
БИОМЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.08)**

АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.00)

**СЕКЦИЯ №14.
АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.01)**

**СЕКЦИЯ №15.
АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.02)**

**СЕКЦИЯ №16.
ФИЗИКА СОЛНЦА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.03)**

**СЕКЦИЯ №17.
ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.04)**

ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.00)

СЕКЦИЯ №18.
ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.01)

**ВЫЯВЛЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ МИКРОВОЛНОВОГО РЕЛИКТОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗОНДА «PLANCK»
НА ЧАСТОТНЫХ КАНАЛАХ 30 и 44 ГГц**

Варгашкин В.Я., Новикова Е.В.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Анизотропия микроволнового реликтового излучения впервые была экспериментально обнаружена со спутника «Прогноз-9» в ходе эксперимента «Реликт» в 1983 году [1].

Наиболее точные измерения анизотропии этой температуры были выполнены в ходе миссии зонда «PLANCK», функционировавшего в 2009 – 2013 годы [2]. Отсчетные устройства зонда обеспечивали измерения температурной анизотропии с семью значащими цифрами. Измерения длились в течение четырех лет и относились к двум частотным диапазонам. Нижний диапазон включал частотные каналы 30; 44 и 70 ГГц, верхний - 100; 143; 217; 35; 545 и 857 ГГц. При этом частоты 30 и 44 ГГц были использованы для дальнейшего анализа, как наиболее полно представленные в опубликованных данных.

Результаты измерений были интегрированы по полугодичным циклам. Таким образом, за время эксплуатации спутника было выполнено восемь подобных циклов измерений.

Данные, полученные с зонда «PLANCK» и опубликованные в открытых источниках, демонстрируют наличие пространственной анизотропии фонового излучения. Она представляет собой превышение температурой числового значения $T_0=2,72548\pm 0,00057\text{K}$. При этом оказалось, что положительная часть диапазона значений анизотропии существенно превышает по ширине отрицательную часть.

На рис. 1 изображены распределения температурной анизотропии микроволнового реликтового излучения по небесной сфере, измеренные [3] в ходе второго (а) - (б) и первого (в) - (г) измерительных циклов, на частотах 30 ГГц (а; в), и 44 ГГц (б; г) соответственно. Под графиками рисунка приведена шкала температурной анизотропии.

На рис. 2 изображены графики статистических функций распределения анизотропии микроволнового реликтового излучения построенные по 12.582.912 направлениям небесной сферы. Рис. 2 (а, в) характеризует измерения с частотой 30 ГГц, а рис.2 (б, г) - с частотой 44 ГГц. Рисунки (а) и (б) соответствуют второму полугодичному измерительному циклу, а рисунки (в) и (г) - первому.

На графиках рис. 2 по оси абсцисс отложены интервалы температурной анизотропии T , а по оси ординат - количества $f(T)$ попаданий измеренными значениями анизотропии в отложенные по оси абсцисс интервалы. В связи со значительными изменениями значений величины $f(T)$ в пределах графиков их оси ординат отградуированы в логарифмическом масштабе единиц.

Анализ графиков рис. 2 (а - г) показывает, что температурная анизотропия характеризуется средними значениями T_0 – соответственно 0,189; 0,188; 0,113 и 0,116 мкК, а также значениями средних квадратических отклонений σ анизотропии от ее средних значений, равных соответственно 0,467; 0,466; 0,364 и 0,362 мкК.

На графиках рисунка 2 отложены также границы интервалов с наиболее вероятными значениями анизотропии. Эти интервалы ограничены значениями трех средних квадратических отклонений от среднего значения. Вероятности обнаружения температурной анизотропии приходящейся на эти интервалы составляют 0,775 и 0,774 для частоты 30 ГГц, а также 0,916 и 0,922 для частоты 44 ГГц. Первые из приведенных здесь значений соответствуют левым хвостам распределений для каждой из частот, а вторые – правым.

Заметим, что средние значения температуры для частоты 30 ГГц отличаются от средних значений для частоты 44 ГГц менее чем на одно среднее квадратическое отклонение от среднего, как для первого, так и для второго измерительных циклов. Это свидетельствует о том, что систематические отклонения в

результатах измерений между двумя частотными каналами следует считать пренебрежимо малыми для дальнейшего анализа.

Сами средние квадратические отклонения от среднего значения в пределах каждого измерительного цикла, различаются по обоим частотам менее, чем на одно среднее квадратическое отклонение.

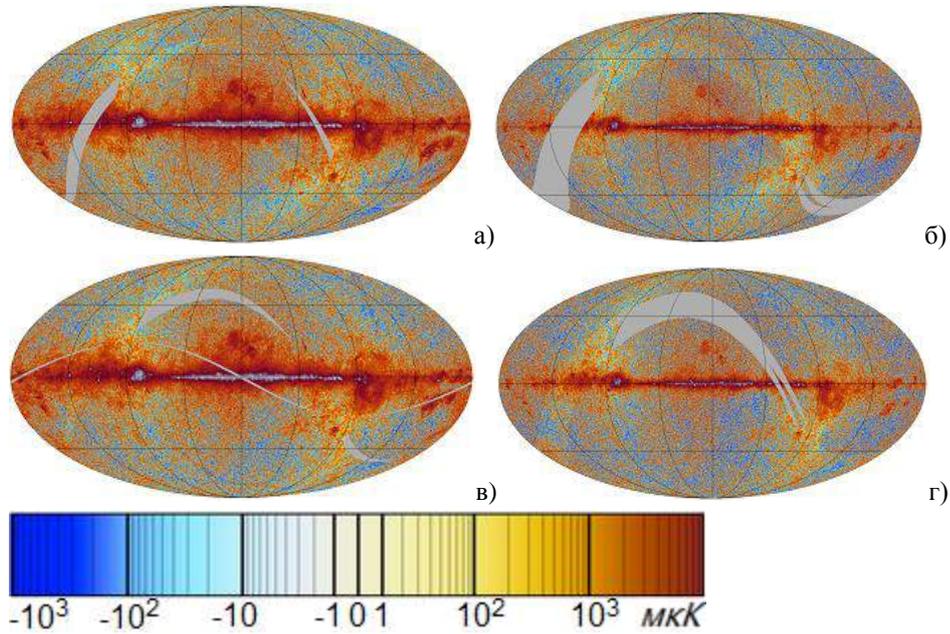


Рисунок 1.- Распределения температурной анизотропии микроволнового реликтового излучения по небесной сфере [2], измеренные в ходе второго (а) - (б) и первого (в) - (г) измерительных циклов, на частотах 30 ГГц (а; в), и 44 ГГц (б; г)

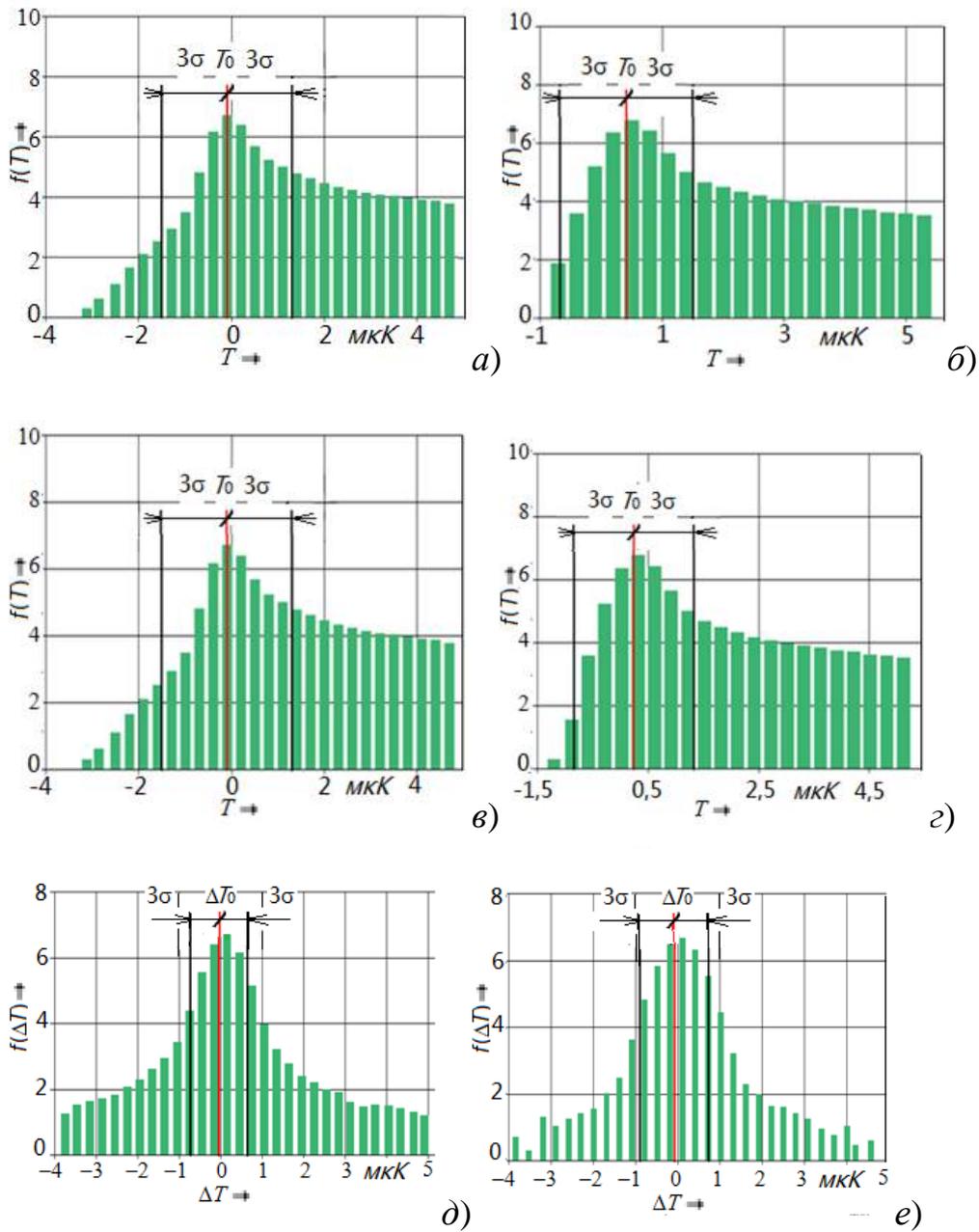


Рисунок 2 - Статистические распределения температурной анизотропии

Рисунок 2 - Статистические распределения температурной анизотропии микроволнового реликтового излучения, измеренные в ходе второго (а) - (б), и первого (в) - (г) измерительных циклов, а также разностей их соответствующих значений (д) - (е) для частот 30 ГГц (а; в; д), и 44 ГГц (б; г; е)

Изложенное свидетельствует о том, что разница между случайными погрешностями по двум частотным каналам не вносит существенного влияния в интерпретацию результатов измерений. Указанные особенности позволяют устанавливать корреляционные связи между временными изменениями результатов измерений на различных частотных каналах, то есть выявлять временную составляющую анизотропии микроволнового реликтового излучения.

На рисунке 2 (д - е) представлены статистические распределения разностей ΔT значений T температурной анизотропии между вторым и первым измерительными циклами на частотах 30 ГГц и 44 ГГц соответственно. В связи со значительными изменениями значений величины $f(T)$ в пределах графиков их оси ординат также отградуированы в логарифмическом масштабе единиц.

Средние значения ΔT_0 разностей ΔT температурной анизотропии T оказались практически равными нулю для обеих частот измерения. Значения средних квадратических отклонений изменений температурной анизотропии от ее среднего значения составили - 0,228 и 0,270 мкК для частот 30 ГГц и 44 ГГц соответственно. На графиках отложены также границы интервалов с наиболее вероятными значениями разностей. Эти интервалы ограничены значениями трех средних квадратических отклонений от среднего. За пределами этих интервалов находятся левый и правый хвосты распределений.

На рисунке 3 изображены интегральные функции $F(\Delta T)$ распределения хвостов распределений изображенных на рис. 2 (д - е). Левые хвосты показаны на рис. 3 (а - б), правые - на рис. 3 (в - г). Частоте 30 ГГц соответствуют рис. 2 (а, в), а частоте 44 ГГц - рис. 2 (б, г). Хвосты распределений характеризуются таблицей. Ее вторые столбцы содержат количества измерений, приходящихся на левые, либо правые хвосты распределений на той или иной частоте. Третий столбец содержит значения столбца 2, деленные на объем генеральной совокупности в 12.582.912 результатов измерений, то есть вероятности попадания одиночного результата в тот или иной хвост, относящийся к той или иной частоте в отдельности.

Четвертый столбец содержит произведение вероятностей, взятых для одинаковых хвостов по каждой из двух рассматриваемых частот, т.е. вероятности попадания результата измерений в хвосты распределений на обоих частотах. В пятом столбце содержится произведения вероятностей взятых из четвертого столбца на объем генеральной совокупности, то есть статистически обусловленные количества результатов измерения, попавших в тот или иной хвост на двух различных частотах. Шестой столбец содержит количества подобных попаданий, выявленных при анализе базы данных спутниковых измерений зонда «PLANCK».

Анализ табличных данных показывает, что для левых хвостов распределений количество одновременных попаданий в них результатов измерений для каждого их двух частот превышает теоретические значения на 59%. Аналогично для правых хвостов распределений количество попаданий в них результатов измерений для каждого их двух частот оказалось меньшим теоретического значения на 82 %.

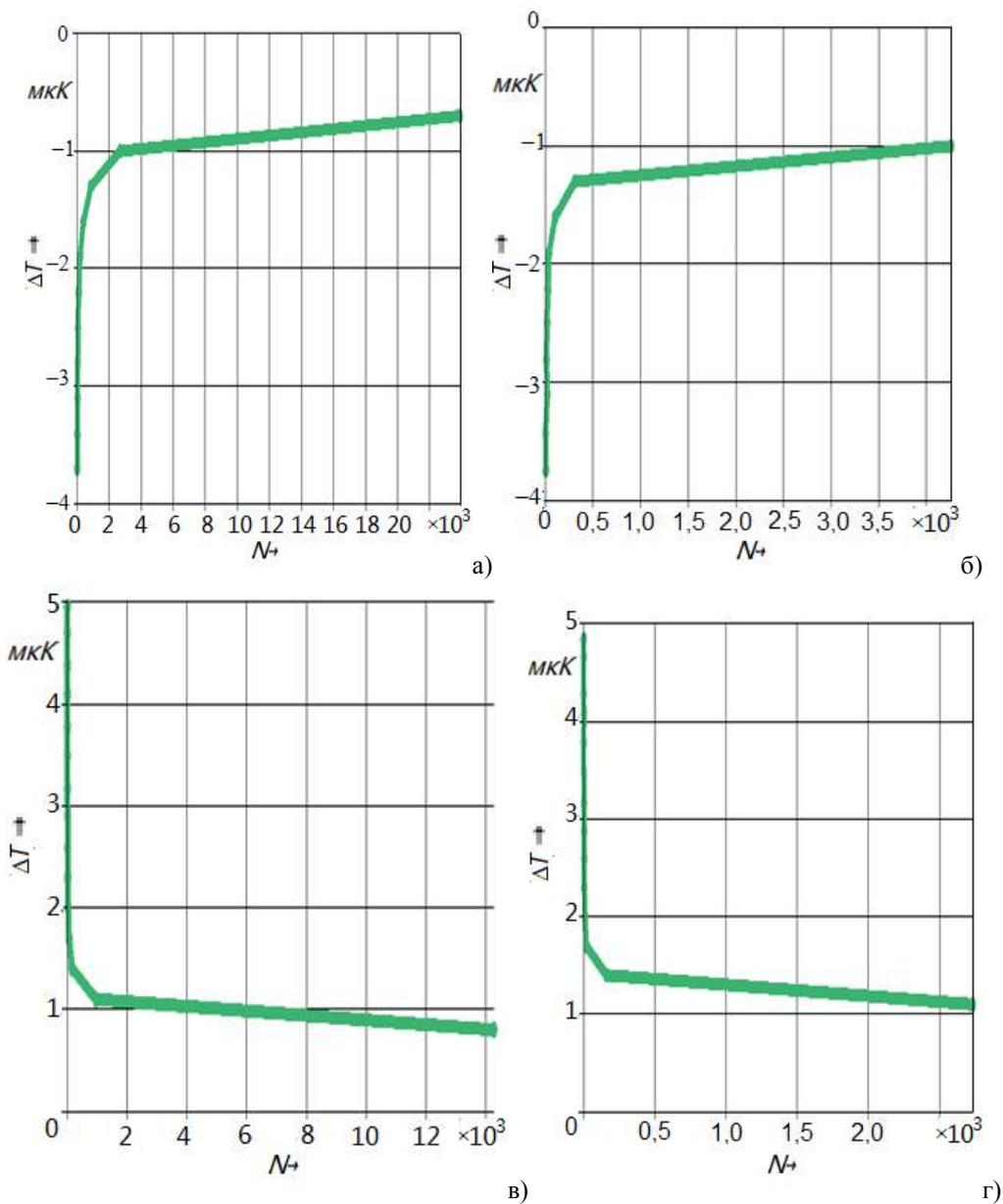


Рисунок 3. - Интегральные функции распределения левых (а - б) и правых (в - г) хвостов распределений для частот 30 ГГц (а, в) и 44 ГГц (б, г)

Таблица – Характеристики хвостов распределений рис. 1 (д - е) и рис.2

Одночастотные измерения			Двухчастотные измерения		
Хвосты распределений	Количество результатов	Вероятность	Вероятность	Вероятностное количество результатов	Экспериментальное количество результатов
1	2	3	4	5	6
Частота 30 ГГц			Частоты 30 и 44 ГГц		
левый	961 869	0,07644	0,001422	17 899	28 278
правый	2 485 610	0,19753	0,022053	277 501	152 204
Частота 44 ГГц					
левый	234 144	0,01860			
правый	1 404 793	0,11164			
левый	234 144	0,01860			

Выявленное превышение количества частотно-независимых скачков анизотропии реликтового излучения над их вероятностно обусловленным количеством для левых хвостов распределения анизотропии излучения, а также превышение вероятностно обусловленного числа скачков их экспериментально выявленного числа следует считать статистически значимыми.

Таким образом, опираясь на выполненный анализ, следует вести речь о возможном новом физическом явлении – временной анизотропии реликтового излучения. Она может быть обусловлена неинтегральным либо интегральным эффектами Сакса-Вольфа [3]. Эти эффекты представляют собой временное изменение блеска излучения под влиянием отличия распределения масс на пути следования излучения от однородного распределения. В случае с неинтегральным эффектом это могут быть массы, распределенные на поверхности последнего рассеивания ранней Вселенной. В случае с интегральным эффектом Сакса-Вольфа это могут быть массы, расположенные между поверхностью последнего рассеивания и точкой наблюдения.

Список литературы

1. Космический аппарат Прогноз 9 («Реликт») [Электронный ресурс] // stp.cosmos.ru URL: http://stp.cosmos.ru/index.php?id=1163&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3367&cHash=3282459ecd6eef801d2c5f522b248bbb (Дата обращения: 28 апреля 2018 г.).
2. LegacyArchiveforMicrowaveBackgroundDataAnalysis [Электронный ресурс] // lambda.gsfc.nasa.gov, URL:http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr5/pub_papers/nineyear/basic_results/wmap_9yr_basic_results.pdf (англ.), (дата обращения 28 апреля 2018 г.).
3. Sachs, R. K. Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background // *Astrophysical Journal*.-Vol. 147.- 1967.

УДК 523.03

ВЫЯВЛЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ МИКРОВОЛНОВОГО РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЗОНДА «WMAP» НА ЧАСТОТНЫХ КАНАЛАХ 33 и 94 ГГц

Варгашкин В.Я., Грядунова А.А.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Целью настоящего исследования явилась разработка методики поиска временной анизотропии микроволнового реликтового излучения Вселенной по данным зонда Уилкинсона. Идея разработки подобной методики основана на частотно независимом анализе хвостов распределений изменения анизотропии излучения.

Пусть P_1 и P_2 – вероятности попадания измеренных значений изменения анизотропии излучения в хвост распределения для частотных каналов f_1 и f_2 при измерениях в некотором, одинаковом для обеих частот f_1 и f_2 , направлении небесной сферы. Подобные изменения могут быть вызваны как случайными факторами, в частности, погрешностями измерения и шумами самой измерительной аппаратуры, так и следствием протекания в космическом пространстве некоторых физических процессов, обуславливающих изменения анизотропии с течением времени.

К таким процессам могут быть отнесены неинтегральный, либо интегральный эффекты Сакса-Вольфа [1]. Первый из них связан с гравитационной фокусировкой светимости реликтового излучения отклонением от равномерного распределения масс, располагающихся вблизи поверхности последнего распределения ранней Вселенной. Второй – отклонением от равномерного распределения масс, располагающихся между поверхностью последнего рассеяния и наземным наблюдателем. При этом кривая светимости является функцией времени, содержащей две ветви – восходящую и нисходящую. Изменения светимости реликтового излучения в согласии с ходом кривой может обуславливать временные скачки измеряемых значений анизотропии излучения таким образом, что соответствующие изменения анизотропии окажутся в хвостах распределения.

Произведение вероятностей P_1 и P_2 характеризует теоретическое число направлений небесной сферы, в которых измеренные значения анизотропии оказываются в хвостах распределений, как на частоте f_1 , так и на частоте f_2 . В том случае, если экспериментально установленное число таких направлений оказывается близким теоретическому, то можно сделать вывод о том, что временные изменения анизотропии обусловлены случайными факторами. Существенное отличие числа этих направлений от их числа, обусловленного произведением вероятностей P_1 и P_2 , служит аргументом в пользу гипотезы о формировании скачков под воздействием физически обусловленных факторов и, в частности, из-за влияния неинтегрального, либо интегрального эффектов Сакса-Вольфа на светимость реликтового излучения.

В работе [2] показано, что анализ данных спутниковых измерений зонда «Planck» на частотных каналах 30 и 44 ГГц свидетельствует именно о существовании частотной независимости ряда временных изменений светимости микроволнового излучения, а следовательно, о физической обусловленности временных скачков анизотропии, т.е. о существовании временной составляющей анизотропии микроволнового излучения. Полученные при этом данные нуждаются в проверке с использованием данных других спутниковых измерений, и, в частности, спутниковых измерений зонда «WMAP».

Анизотропия микроволнового реликтового излучения впервые была экспериментально обнаружена в 1992 г. путем обработки данных спутника «Прогноз-9», полученных в 1983 – 1984 гг. в ходе эксперимента «Реликт» [3]. Следующее подтверждение существования обнаруженного явления было получено зондом COBE в 1989 – 1993 гг. [4]. Подробная карта распределения анизотропии реликтового излучения по небесной сфере была построена на основе спутниковых измерений с зонда Уилкинсона («WMAP») в ходе его девятилетней работы (2001 – 2010 гг.) [5]. Измерения, проведенные зондом «WMAP», явились интегральными по циклам годичной длительности для частот 23; 33; 41; 61 и 94 ГГц. Последним по счету спутником, регистрировавшим микроволновое реликтовое излучение, был зонд «PLANK», функционировавший в 2009 – 2013 гг. с частотными измерительными диапазонами 30; 44; 70; 100; 143; 217; 353; 545 и 857 ГГц [6]. Измерения, выполненные зондом «PLANK», также явились интегральными по циклам полугодовой длительности

Поиски временной анизотропии затруднены именно тем, что, как показано выше, экспериментальные данные зонда Уилкинсона являются сильно усредненными во времени. Тем не менее, за счет многочисленности этих данных возможно выявление скачков температурной анизотропии между измерительными циклами со статистически значимой амплитудой, которые следует отнести к проявлению временной составляющей анизотропии.

Для выявления подобных скачков были построены дифференциальные функции распределения анизотропии температуры T микроволнового реликтового излучения по имеющимся в базе данных зонда 12.582.912 направлениям небесной сферы (рис. 1) для двух каналов спутниковых измерений, выполненных на частотах 33 ГГц (a и b) и 94 ГГц (b и c) и наиболее полно представленных в открытых данных. При этом рисунки (a) и (b) соответствуют второму годичному измерительному циклу, а рисунки (c) и (d) – первому циклу. По оси абсцисс на этих графиках отложены интервалы температурной анизотропии T , по оси ординат отложены количества $f(T)$ попаданий в тот или иной интервал. Ввиду того, что эти количества, в зависимости от значений T , изменяются от нескольких штук до сотен тысяч, оси ординат графиков отградуированы в логарифмическом масштабе единиц.

Анизотропия температуры отложенная по оси абсцисс представляет собой превышение температурой излучения числового значения $T_0=2,72548\pm 0,00057$ [7].

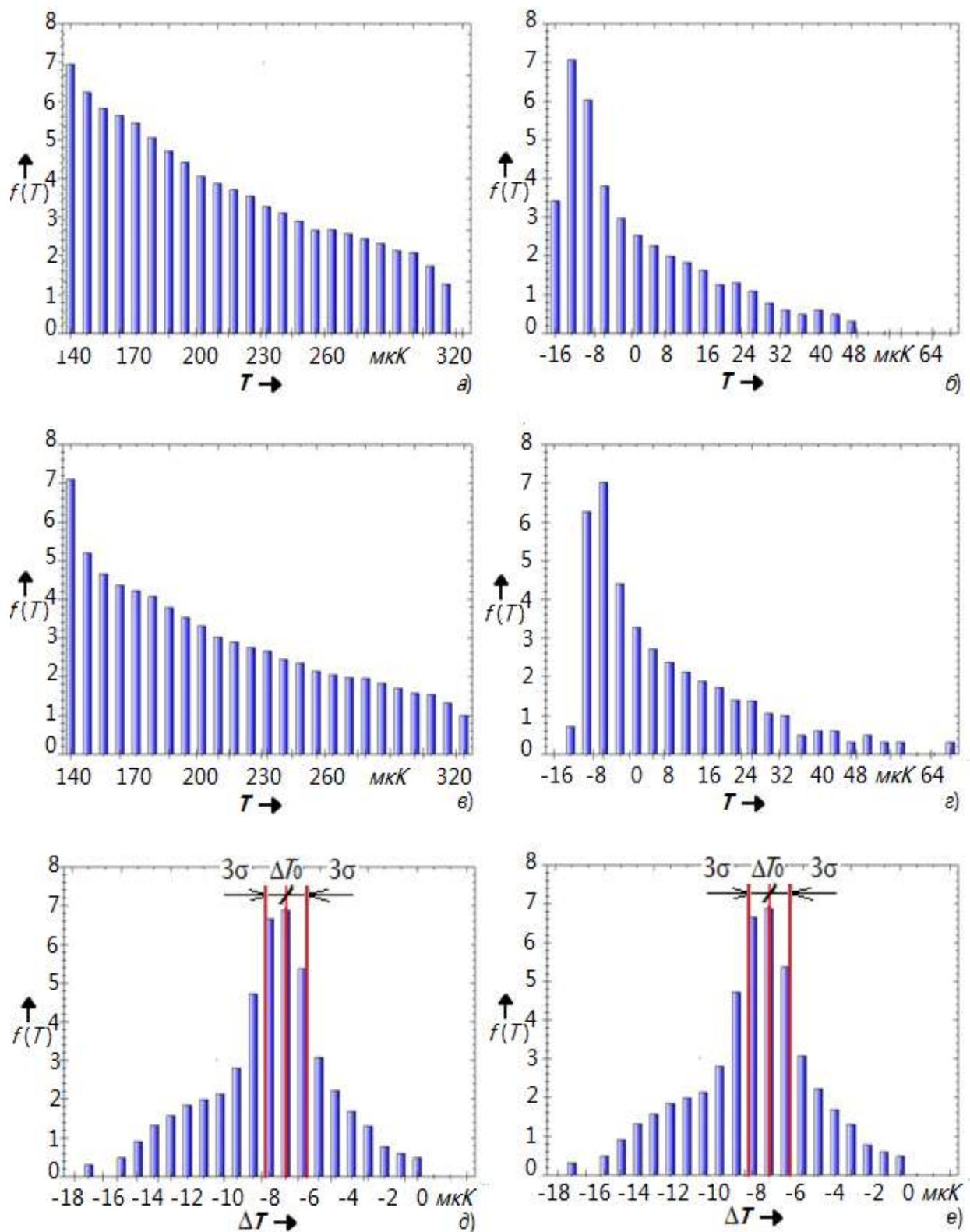


Рисунок 1.– Статистические распределения анизотропии температуры микроволнового реликтового излучения, измеренные в ходе второго года полета (а) и (б); первого года полета (в) и (г), а так же их соответствующих разностей (д) и (е) в частотных диапазонах 33 ГГц (а; в; д), а так же 94 ГГц (б; г; е)

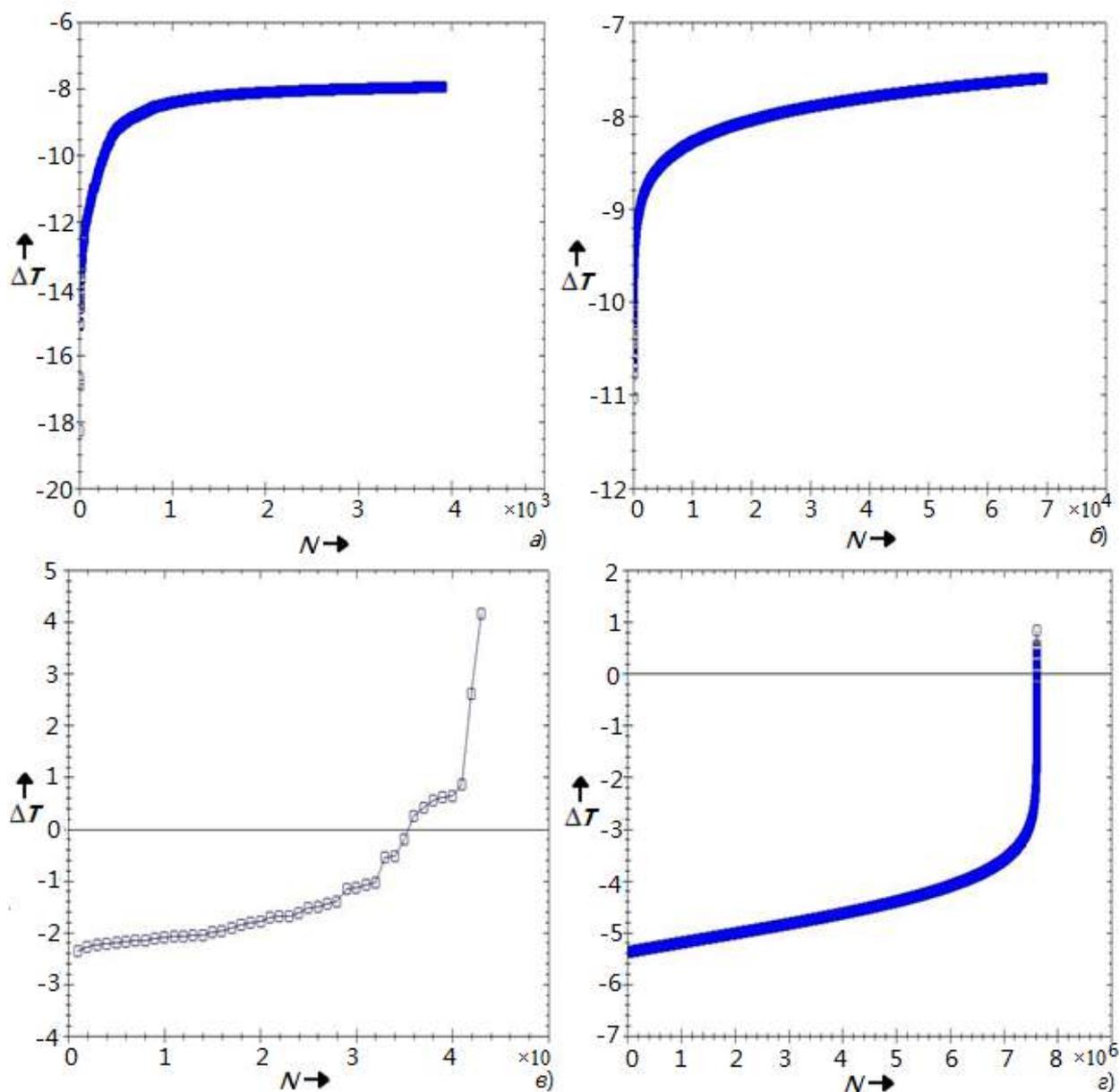


Рисунок 2. - Интегральные функции распределения хвостов распределения анизотропии температуры микроволнового реликтового излучения, измеренные в ходе второго года полета (а) и (б); первого года полета (е) и (з) в частотных диапазонах 33 ГГц (а; е), а так же 94 ГГц (б; з)

В результате этого оказалось, что положительная часть диапазона значений анизотропии превалирует по ширине над отрицательной частью.

Для выявления скачков температурной анизотропии были вычислены разности ΔT между значениями T анизотропии, полученными в ходе первого измерительного цикла по всем направлениям небесной сферы, и значениями анизотропии, полученными в ходе второго измерительного цикла по соответствующим первому циклу направлениям небесной сферы.

Результаты вычисления названных разностей в виде статистического распределения изображены на рис 1 (д) (33 ГГц) и 1 (е) (94 ГГц). Установлено, что значения изменения температурной анизотропии изменяются в диапазоне от $-18,2789$ мкК до $4,1639$ мкК для 33 ГГц, а также от $-11,035$ мкК до $0,8245$ мкК для 94 ГГц.

Анализ рис.1 (д) – (е) показывает, что средние значения ΔT_0 изменения температурной анизотропии составляет $-5,14408$ мкК для частотного канала 33 ГГц и $-6,491$ мкК для 94 ГГц. Эти значения на рисунках представлены вертикальной линией обозначенной символом ΔT_0 . При этом средние квадратические отклонения σ изменения анизотропии от среднего значения составляют $0,9332$ мкК для частоты 33 ГГц и $0,3694$ мкК для частоты 94 ГГц соответственно. На рисунках отложены также по две вертикальные линии

соответствующие трем средним квадратическим отклонениям σ температурной анизотропии ΔT от значения ΔT_0 в обе стороны температурной шкалы, то есть соответствуют значениям изменения анизотропии от $-7,94368 \text{ мкК}$ до $-2,41128 \text{ мкК}$ для частоты 33 ГГц и от $-7,5992 \text{ мкК}$ до $-5,3828 \text{ мкК}$ для частоты 94 ГГц .

На рис.2 изображены интегральные функции распределения хвостов распределений, соответствующих рис. 1 (д) и (е). для частоты 33 ГГц рис.2 (а) и (в) и рис.2 (б) и (г) 94 ГГц . Рисунки 2 (а) и (б) соответствуют левым хвостам распределения, рисунки (в) и (г) – правым хвостам. Хвосты распределений характеризуются таблицей. Ее вторые столбцы содержат количества измерений, приходящихся на левые, либо правые хвосты распределений на той или иной частоте. Третий столбец содержит значения столбца 2, деленные на объем генеральной совокупности в $12.582.912$ результатов измерений, то есть вероятности попадания одиночного результата в тот или иной хвост, относящийся к той или иной частоте в отдельности.

Таблица – Характеристики хвостов распределений рис. 1 (д - е) и рис.2

Одночастотные измерения			Двухчастотные измерения		
Хвосты распределений	Количество результатов	Вероятность	Вероятность	Вероятностное количество результатов	Экспериментальное количество результатов
1	2	3	4	5	6
Частота 30 ГГц			Частоты 30 и 44 ГГц		
левый	3.913	$3,1 \times 10^{-4}$	$1,72 \times 10^{-6}$	22	35
правый	44	$3,50 \times 10^{-6}$	$3,34 \times 10^{-3}$	42.062	23.070
Частота 44 ГГц					
левый	69.507	$5,5 \times 10^{-3}$			
правый	7.614.577	0,61			

Четвертый столбец содержит произведение вероятностей, взятых для одинаковых хвостов по каждой из двух рассматриваемых частот, т.е. вероятности попадания результата измерений в хвосты распределений на обеих частотах. В пятом столбце содержится произведения вероятностей взятых из четвертого столбца на объем генеральной совокупности, то есть статистически обусловленные количества результатов измерения, которые должны попасть в тот или иной хвост одновременно на двух различных частотах. Шестой столбец содержит количества подобных попаданий, выявленных при анализе базы данных спутниковых измерений зонда «WMAP».

Статистическое, лежащее в интервале $45 \dots 59 \%$ различие между числовыми значениями пятого и шестого столбцов таблицы свидетельствует о работоспособности разрабатываемой методики поиска временной анизотропии микроволнового реликтового излучения Вселенной по данным зонда Уилкинсона, основанной на частотно независимом анализе хвостов распределений изменения анизотропии излучения с течением времени. Анализ данных спутниковых измерений зонда «WMAP» на частотных каналах 33 и 94 ГГц свидетельствует о существовании частотной независимости ряда временных изменений светимости микроволнового излучения, а следовательно, о физической обусловленности временных скачков анизотропии, т.е. о существовании временной составляющей анизотропии этого излучения.

Список литературы

1. Sachs, R. K. Perturbations of a Cosmological Model and Angular Variations of the Microwave Background // Astrophysical Journal.-Vol. 147.- 1967.
2. Варгашкин, В.Я. и Новикова, Е.В. Выявление временной анизотропии микроволнового реликтового излучения по данным спутниковых измерений зонда «PLANCK» на частотных каналах 30 и 44 ГГц : Сб. науч. тр. V МНТК // О вопросах и проблемах современных математических и естественных наук / г.Челябинск, «ИЦРОН», 11 июля 2018 г.- Электронный документ. Доступ: <http://izron.ru/articles/o-voprosakh-i-problemakh-sovremennykh-matematicheskikh-i-estestvennykh-nauk-sbornik-nauchnykh-trudov/seksiya-18-pribory-i-metody-eksperimentalnoy-fiziki-spetsialnost-01-04->

01/vyuyavlenie-vremennoy-anizotropii-mikrovolnovogo-reliktoвого-izlucheniya-po-dannym-sputnikovykh-izmer/ (Дата обращения: 13 августа 2018 г.).

3. Космический аппарат «Прогноз-9» («Реликт») [Электронный ресурс] // stp.cosmos.ru URL: http://stp.cosmos.ru/index.php?id=1163&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3367&cHash=3282459ecd6eef801d2c5f522b248bbb (Дата обращения: 13 августа 2018 г.).

4. Robitaille, P.-M.L. *COBE: A Radiological Analysis*, Prog. in Phys., 2009, v.4, 17-42. Электронный ресурс] // URL http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-19-03.PDF (Дата обращения: 13 августа 2018 г.).

5. LegacyArchiveforMicrowaveBackgroundDataAnalysis [Электронный ресурс] // lambda.gsfc.nasa.gov, URL:http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr5/pub_papers/nineyear/basic_results/wmap_9yr_basic_results.pdf (англ.), (Дата обращения: 13 августа 2018 г.).

6. NASAOfficial [Электронный ресурс] // [nasa.gov](https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/overview.html) URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/overview.html (англ.), (Дата обращения: 13 августа 2018 г.).

7. Fixen, D.J. The Temperature of the Cosmic Microwave Background // *Astrophysical Journal*.-2009.-Т. 707.-С. 916 – 920.

СЕКЦИЯ №19.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.02)

СЕКЦИЯ №20.

РАДИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.03)

СЕКЦИЯ №21.

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.04)

СЕКЦИЯ №22.

ОПТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.05)

СЕКЦИЯ №23.

АКУСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.06)

СЕКЦИЯ №24.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.07)

СЕКЦИЯ №25.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.08)

СЕКЦИЯ №26.

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.09)

**СЕКЦИЯ №27.
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.10)**

**СЕКЦИЯ №28.
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.11)**

**СЕКЦИЯ №29.
ЭЛЕКТРОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.13)**

**СЕКЦИЯ №30.
ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.14)**

**СЕКЦИЯ №31.
ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР,
АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.15)**

**СЕКЦИЯ №32.
ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.16)**

**СЕКЦИЯ №33.
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ,ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.17)**

**СЕКЦИЯ №34.
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.18)**

**СЕКЦИЯ №35.
ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦИ УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.20)**

**СЕКЦИЯ №36.
ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.21)**

**СЕКЦИЯ №37.
ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.23)**

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.00)

СЕКЦИЯ №38.

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.01)

СЕКЦИЯ №39.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.02)

СЕКЦИЯ №40.

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.03)

СЕКЦИЯ №41.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.04)

СЕКЦИЯ №42.

ЭЛЕКТРОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.05)

ВЛИЯНИЕ ПИРИДИНА НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА НА ЖЕЛЕЗЕ В КИСЛЫХ ХЛОРИДНЫХ СРЕДАХ

Кудрявцева Н.М., Балыбин Д.В., Попова О.В., Кузнецова Л.А.

ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов

Введение

Катодная реакция выделения водорода (РВВ) в течение многих лет являлась своеобразным пробным камнем, на котором проверялись и уточнялись все основные положения электрохимической кинетики. Более того, основная часть понятий и теорий электродной кинетики была разработана именно в процессе изучения РВВ [22-24]. Многие особенности, связанные с катодным выделением водорода (в том числе механизм элементарных стадий), достаточно подробно обсуждались в обзорах [3, 16, 18, 21].

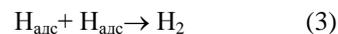
Известно, что за стадией разряда



где *solvent* – молекула растворителя, последующее удаление $\text{H}_{\text{адс}}$ может протекать по реакциям Гейровского



или Тафеля



и одна из стадий (1) – (3), в зависимости от природы растворителя или состава электролита, часто оказывается лимитирующей [3, 4, 16, 18, 19, 21-24]. Адсорбированный атомарный водород как промежуточное вещество РВВ проникает в металл. Количество водорода в металле зависит от поверхностной концентрации $\text{H}_{\text{адс}}$, а следовательно от механизма РВВ, протекающей на поверхности металла [19]. В большинстве работ по кинетике реакции водородного электрода водород выделялся или из свободных ионов водорода (ионов гидроксония H_3O^{+}), либо из молекул воды. Даже если исследовали его выделение из буферных растворов слабых кислот, считалось, что он – продукт разряда ионов водорода, образующихся при диссоциации молекулярных или анионных кислот [7]. Электрохимическая реакция используется даже для определения константы скорости диссоциации слабых кислот [2]. Но атомы водорода как потенциальные доноры протона присутствуют в многочисленных других молекулах растворимых в воде веществ, каковыми являются, например, недиссоциированные молекулы слабых кислот и кислых солей. В работах [5-6] было показано, что при выделении водорода из водных растворов донорами водорода, по всей вероятности, являются водородосодержащие молекулы растворенных веществ.

Многочисленные исследования в области ингибирования РВВ проведены, прежде всего, на металлах группы железа, в связи с проблемой защиты от коррозии [1, 8, 15].

Адсорбция ингибитора может заметно влиять на процесс выделения водорода при коррозии металлов с водородной деполяризацией [12]. Известны случаи, когда ингибирование агрессивной среды приводит к изменению природы перенапряжения. Характер влияния ингибитора на различные стадии выделения водорода обусловлен, в частности, особенностями его молекулярного строения и спецификой адсорбции частиц на поверхности железа.

Многие ингибиторы кислотной коррозии железа, взятые в малых концентрациях, ведут себя как стимуляторы [20]. При этом также снижается перенапряжение восстановления водорода.

В настоящее время одним из способов исследования кинетики и механизма РВВ стал метод спектроскопии электрохимического импеданса [3]. Импедансный метод позволяет изучать свойства физических, физико-химических, электрохимических и многих других систем удобно изучать путем наблюдения за их откликом на слабое внешнее воздействие. Этот метод достаточно точный для широкого диапазона частот воздействующего сигнала и позволяет получить информацию, как о кинетике электрохимических процессов, так и о свойствах поверхности и объема исследуемого объекта [4].

Различные органические вещества могут повышать или понижать водородное перенапряжение, поэтому особый интерес вызывают ингибиторы, в качестве которых используют амины различного строения, в том числе циклические амины, обладающие ароматическим характером. Исходя из этого, в настоящей работе было рассмотрено влияние пиридина на перенапряжение водорода.

Методика эксперимента

Исследования проведены при комнатной температуре в водородной атмосфере на железе «армко» (с химическим составом, масс. %: С – 0,02; Mn – 0,035; Cr – 0,14; S – 0,02; P – 0,025) в водных (бидистиллят) средах с комплексным электролитом состава $x \text{ M HCl} + (1 - x) \text{ M LiCl}$. Такой подход позволяет вводить в систему поверхностно-неактивный катион Li^+ при $C_{\text{Cl}^-} = \text{const}$ и постоянной ионной силе, когда $a = f \cdot C$, где f – коэффициент активности, который, в первом приближении, можно считать неизменным. Исходный растворитель насыщали хлористым водородом, получаемым взаимодействием NaCl с раствором H_2SO_4 и последующим доведением до заданной концентрации HCl. Хлористый литий квалификации «х. ч.» предварительно сушили при $107 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и затем растворяли в рабочем растворе в требуемом количестве. Кинетику РВВ исследовали при комнатной температуре на железе армко в условиях потенциодинамической поляризации (скорость развёртки 0,66 мВ/с, потенциостат Solartron 1255), водородная атмосфера, комнатная температура, потенциалы пересчитаны по стандартной водородной шкале. Измерения проводили в двух экспериментальных сериях: относительно равновесного водородного электрода в том же рабочем растворе (что позволяло непосредственно оценивать связь кинетики процесса с перенапряжением водорода) и водного насыщенного хлоридсеребряного электрода.

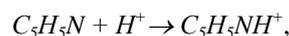
Железный электрод армировали в оправу из эпоксидной смолы с отвердителем полиэтиленполиамином. Рабочую поверхность (1 см^2) полировали наждачной бумагой разных номеров, обезжиривали ацетоном, промывали рабочим растворителем и сушили фильтровальной бумагой. Использована трехэлектродная электрохимическая ячейка из стекла «Пирекс» с разделенными шлифом анодным и катодным пространствами.

Импедансные измерения проведены на измерительном комплексе фирмы «Solartron», состоящем из анализатора импеданса SI-1255 и потенциостата SI-1287 Великобритании в диапазоне частот 10 кГц – 50 мГц с амплитудой напряжения 10 мВ. Обработка результатов проведена по программе ZView 3.0, поставляемой изготовителем комплекса.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Влияние пиридина и возможных продуктов его взаимодействия со средой на кинетику РВВ и закономерности твердофазной диффузии водорода во многом определяются как непосредственно свойствами $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$, так и самой системы в целом. Это обусловлено, прежде всего, тем, что в кислой среде образующиеся доноры протонов в виде $\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+$ могут вести к параллельному катодному процессу разряда, изменяя тем самым кинетические характеристики собственно РВВ за счет сольватных форм протона (H_3O^+ , $\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+$), и, следовательно, затрудняя тем самым теоретический анализ процесса. Адсорбционная способность пиридина и продуктов его протонирования может сказаться на соответствующей способности ад – атомов водорода, прежде всего в результате конкуренции за адсорбционные центры.

Следует полагать, что в изученных условиях (комнатная температура) протекает реакция протонирования



в результате чего образуется катион пиридиния.

Таким образом, в присутствии C_{H^+} в пределах $1,0 - 10^{-2}$ моль/л отношение концентрации ионов пиридиния к непротонированной форме пиридина составляет $1,7 \cdot 10^5 - 1,7 \cdot 10^3$. Следовательно, в них молекулярная форма C_5H_5N практически отсутствует [14].

Как было показано ранее [9], в водных средах, где на железе замедлена стадия разряда (таблица 1), для выяснения влияния содержания пиридина на кинетику РВВ при различных фиксированных концентрациях HCl (0,05; 0,10; 0,50 и 0,99) было изучено влияние концентрации пиридина в интервале 0,5 – 10,0 ммоль/л.

При введении 0,5 мМ пиридина (таблица 1) величины $\left(\frac{\partial \lg i_k}{\partial \lg C_{H^+}}\right)_E$ и $\left(\frac{\partial \lg i_k}{\partial \lg c_{H^+}}\right)_\eta$ становятся равными соответственно 0,75 и 0,25 (таблица 1), что соответствует замедленной латеральной диффузии детально рассмотренной в [10] и экспериментально наблюдаемой в [9].

Таблица 1

Кинетические параметры РВВ на железе в растворах системы $H_2O - HCl - C_5H_5N$ с составом электролита x М HCl + $(1-x)$ М LiCl в присутствии пиридина (водородная атмосфера, комнатная температура).

$C_{\text{пиридина}}, \text{ мМ}$	$-\frac{dE}{d \lg i_k}, \text{ В}$	$-\frac{dE}{d \lg C_{H^+}}, \text{ В}$	$\left(\frac{\partial \lg i_k}{\partial \lg C_{H^+}}\right)_E$	$\frac{d\eta_H}{d \lg i_k}, \text{ В}$	$\frac{d\eta_H}{d \lg C_{H^+}}, \text{ В}$	$\left(\frac{\partial \lg i_k}{\partial \lg C_{H^+}}\right)_\eta$
0	0,115	0,068	0,85	0,115	0,060	0,50
0,5	0,125	0,088	0,75	0,125	0,050	0,25
1,0	0,130	0,100	0,75	0,130	0,045	0,25
5,0	0,120	0,100	0,55	0,120	0	0
10,0	0,125	0,120	0,80	0,125	0,060	0,50

Увеличение концентрации C_5H_5N до 1 мМ не влияет существенно на кинетические параметры РВВ, замедлена по-прежнему латеральная диффузия атомарного адсорбированного водорода на поверхности металла. В присутствии 5 мМ добавки кинетические параметры соответствуют замедленной реакции Тафеля (таблица 1).

В случае максимально изученной концентрации (10 мМ) добавки кинетические параметры вновь, как и в фоновых растворах соответствуют замедленной реакции разряда (таблица 1).

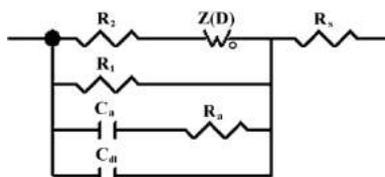


Рис.1. Эквивалентная схема, используемая для анализа импедансных данных, полученных на электроде в неингибированных и ингибированных растворах.

В целом, в водных растворах по мере введения и возрастания концентрации пиридина наблюдается переход от одной замедленной стадии к другой согласно ряду: замедленный разряд → замедленная латеральная диффузия → замедленная рекомбинация → замедленный разряд.

Для описания спектров импеданса использовали эквивалентную электрическую схему, представленную на рисунке 1. Данная схема использовалась ранее для расчётов электрохимического импеданса на железе в кислых водных средах [9]. В схеме (рис. 1): R_s – сопротивление раствора электролита, C_{dl} – емкость двойного электрического слоя, R_1 – сопротивление переноса заряда в анодном процессе, C_a , R_a – емкость и сопротивление адсорбции промежуточных соединений анодной реакции. Катодному процессу отвечает последовательное соединение сопротивления переноса заряда R_2 и диффузионного импеданса Z_D .

Таблица 2.

Численные значения параметров эквивалентной схемы железа в водных растворах $\text{MnCl} + (1 - x) \text{MLiCl}$.

параметры	концентрация пиридина (ммоль/л)					
	0	0,5	1	5	10	20
$R_2, \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$	34,22	8,37	7,85	5,39	3,45	$5,41 \cdot 10^{-6}$
	5,94	4,29	3,8	2,08	0,21	$4,16 \cdot 10^{-6}$
$R_1, \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$	57,42	40,01	35,33	55,2	58,85	378,2
	61,19	70,23	718,2	51444	58666	117
$R_a, \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$	53,47	23,94	13,15	11,76	11,57	36,58
	20,27	23,78	12,41	11,83	14,23	12,16
$R_s, \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$	2,5	2,5	2	1,5	1,69	3,5
	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	1,5
$Z(d)-R$	992,9	325,5	433,5	439,8	633,4	211,7
	911,6	1434	56,22	62,04	61,2	63,91
$Z(d)-T$	7,373	15,01	29,19	30,66	96,91	9,94
	28,16	252,8	0,11	0,09	0,07	0,103
$Z(d)-P$	0,48	0,46	0,43	0,35	0,33	0,15
	0,33	0,28	0,21	0,22	0,24	0,21
$C_a, \text{ Ф/см}^2$	$1,95 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$1,86 \cdot 10^{-5}$	$1,74 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$2,402 \cdot 10^{-5}$	$3,002 \cdot 10^{-5}$	$3,01 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-5}$
$C_{dl}, \text{ Ф/см}^2$	$8,59 \cdot 10^{-5}$	$8,32 \cdot 10^{-5}$	$6,53 \cdot 10^{-5}$	$5,54 \cdot 10^{-5}$	$5,05 \cdot 10^{-5}$	$2,82 \cdot 10^{-5}$
	$7,36 \cdot 10^{-5}$	$6,31 \cdot 10^{-5}$	$6,307 \cdot 10^{-5}$	$5,88 \cdot 10^{-5}$	$5,21 \cdot 10^{-5}$	$3,37 \cdot 10^{-5}$

Примечание: значения в числителе для раствора $0,1 \text{ MnCl} + 0,9 \text{ MLiCl}$; в знаменателе для раствора $0,05 \text{ MnCl} + 0,95 \text{ MLiCl}$.

Из приведенных данных (таблица 2) следует, что ёмкость двойного электрического слоя уменьшается по мере увеличения концентрации пиридина, что свидетельствует о его адсорбции на металлической поверхности.

Снижение ёмкости двойного слоя с ростом концентрации ингибитора позволяет рассчитать степень заполнения поверхности ингибитором Θ по формуле [13]

$$\theta = (C_0 - C)/(C_0 - C_\infty),$$

где C_0 , C , и C_∞ – соответственно ёмкость двойного слоя в растворе фона, с добавкой ингибитора и при предельном заполнении поверхности электрода ингибитором.

Значения степеней заполнения поверхности железного электрода ингибитором, рассчитанные указанным методом, в растворе занесены в таблицу 3.

Таблица 3.

Значения степеней заполнения поверхности железного электрода пиридином в водных растворах $\text{MnCl} + (1-x) \text{MLiCl}$.

0,1 MnCl + 0,9 MLiCl					
$C_{\text{ингибитора}}$	0,5	1	5	10	20
Θ	0,06	0,49	0,72	0,84	≈ 1
0,05 MnCl + 0,95 MLiCl					
$C_{\text{ингибитора}}$	0,5	1	5	10	20
Θ	0,39	0,396	0,56	0,81	≈ 1

После чего возможно построить график изотермы адсорбции пиридина на железе в исследуемых системах (рис.2 и 3).

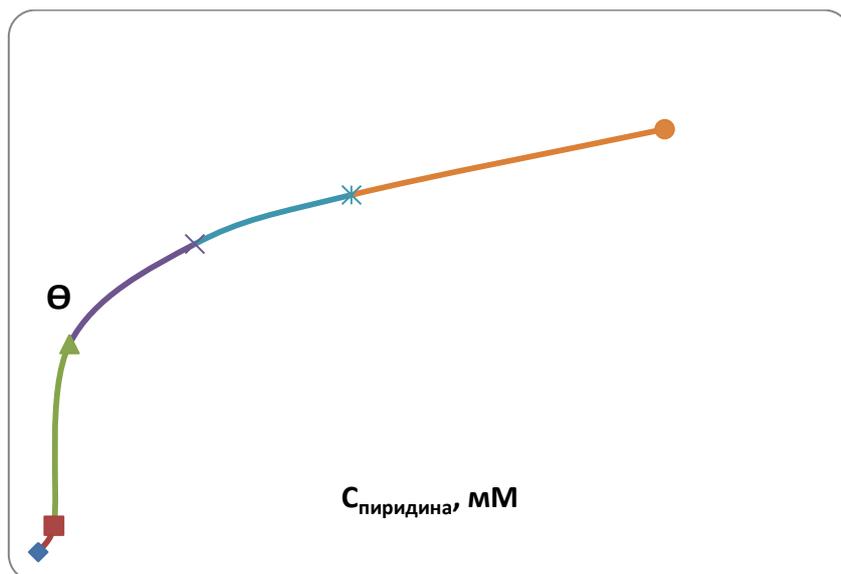


Рис.2. Изотерма адсорбции пиридина на железе в водных растворах 0,1М HCl+ 0,1М LiCl.

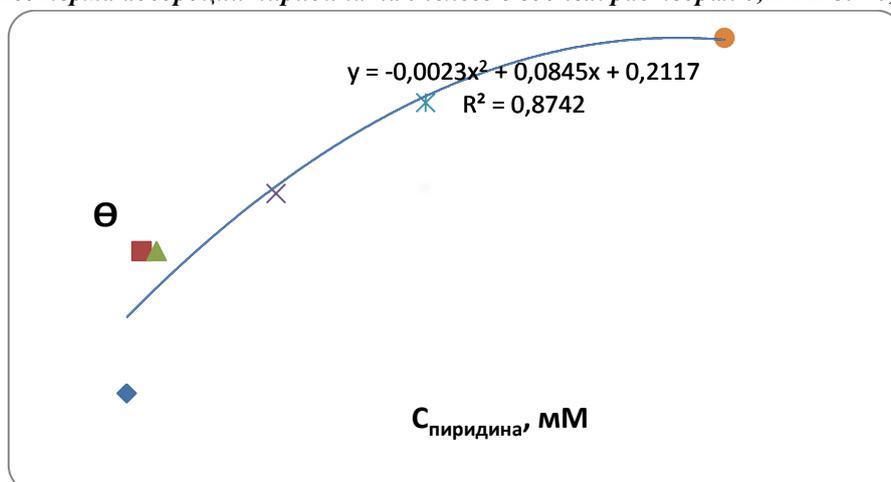
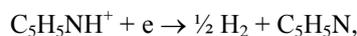


Рис.3. Изотерма адсорбции пиридина на железе в водных растворах 0,05М HCl+ 0,95М LiCl.

Из рисунков 2 и 3 следует, что степень заполнения металлической поверхности в исследуемой среде достигает максимальных значений при концентрации ингибитора 20 ммоль/л. В результате чего наблюдается два взаимно противоположных фактора. С одной стороны происходит облегчение протекания реакции Фольмера (так как уменьшается R_2 с ростом $C_{\text{пиридина}}$), а с другой – адсорбция пиридина в форме иона пиридиния:



что, в свою очередь должно вызывать уменьшение адсорбционных центров поверхности и осложнять протекание реакции разряда H^+ .

Зависимость $\Theta - C_{\text{инг}}$, имеет вид кривой, приближающейся к значению $\Theta=1$ (рис. 2 и 3). Это характерно как для изотермы Фрумкина, так и для изотермы Темкина и некоторых других изотерм. Выбор изотермы определяется положением минимума зависимости $d \ln C_{\text{инг}} / d\Theta$ от Θ [13]. Поскольку для полученной изотермы адсорбции пиридина по данным измерений через 15 минут выдержки, он находится при $\Theta = 0,5$, можно полагать, что адсорбция ингибирующей композиции описывается уравнением Фрумкина

$$Vc = [\Theta / (1 - \Theta)] \exp(-2a\Theta),$$

где a – аттракционная постоянная, характеризующая взаимодействие между адсорбированными частицами, V – константа адсорбционного взаимодействия. В пользу изотермы Фрумкина по сравнению с изотермой Темкина свидетельствует также расчет, проведенный по методу Б.И. Подловченко и Б.Б. Дамаскина [13], согласно которому разница между величинами $f_a = d \ln C_{\text{инг}} / d\Theta$ и $f_b = -2a$ (при $\Theta=0,5$) удовлетворяет неравенству $f_a - f_b \geq 4$, что и наблюдается в нашем случае.

Расчет величины a был проведен по методике, описанной в [13]. Используя значения a , была рассчитана величина B для каждого значения Θ по формуле

$$B = \{\Theta/[C(1-\Theta)]\} \exp(-2a\Theta)$$

Все полученные данные приведены в таблице 4. Величина a изменяет знак при увеличении концентрации пиридина. Это свидетельствует о том, что наличие ПАВ в растворе может привести к изменению природы замедленной стадии РВВ и к изменению механизма процесса. В результате чего после введения пиридина в систему $x\text{MnCl} + (1-x)\text{MLiCl}$ происходит замедление латеральной диффузии, что согласуется с электрохимическими измерениями (таблица 1).

Используя значения B , можно рассчитать свободную энергию адсорбции (ΔG_{ads}^0) по формуле [13]:

$$B = (1/55,5) \exp(-\Delta G_{\text{ads}}^0/RT),$$

$$\text{откуда } -\Delta G_{\text{ads}}^0 = RT \ln(55,5B),$$

где 55,5 – это концентрация воды в моль/л, которая в мг/л равна 106.

В нашем случае $\Delta G_{\text{cp}} = -16,7725$ кДж/моль, что характерно для физической адсорбции.

Таблица 4.
Значения a , B , f_a , f_b .

0,05 М HCl + 0,95 М LiCl												
$C_{0,5}$	y	$C_{\text{ингиб.}}$	a	a_{cp}	B	B_{cp}	f_a	$f_{a,\text{cp}}$	f_b	$f_{b,\text{cp}}$	$f_a - f_b$	Тип изотермы
4	0,07	0,5	-5,65	-13,04	41,02	13,89	15,8	30,34	11,3	26,99	4,5	Фрумкина
	0,15	1	-46,22		-		96,45		92,4		4,01	
	0,73	5	1,21		0,49		6,5		2,42		4,08	
	1,45	10	0,91		0,15		2,6		1,82		0,78	Тёмкина
0,1 М HCl + 0,9 М LiCl												
$C_{0,5}$	y	$C_{\text{ингиб.}}$	a	a_{cp}	B	B_{cp}	f_a	$f_{a,\text{cp}}$	f_b	$f_{b,\text{cp}}$	$f_a - f_b$	изотерма
2	0,25	0,5	1,95	-1,96	0,07	17,83	22,14	13,59	-3,9	3,915	26,04	Фрумкина
	0,5	1	-1,83		3,12		7,79		3,66		4,13	
	2,5	5	-3,81		36,76		11,86		7,62		4,24	
	5	10	-4,14		31,38		12,57		8,28		4,29	

Методом электрохимического импеданса изучено влияние пиридина на РВВ на железе в кислых водных хлоридных растворах. Из полученных данных следует, что увеличение концентрации пиридина приводит к снижению емкости двойного электрического слоя. Такая зависимость характерна для адсорбции частиц добавки органического вещества на поверхности исследуемого электрода. В свою очередь, увеличение в системе ионов пиридиния вызывает уменьшение сопротивления переноса заряда (величина R_2), что облегчает реакцию Фольмера. Расчеты величин степени заполнения (Θ) поверхности катионами пиридиния показывают, что при максимальной изученной концентрации добавки $\Theta \approx 1$. Таким образом, наблюдается два противоположных фактора. С одной стороны пиридин адсорбируется как ион пиридиния, а с другой – увеличивает скорость протекания реакции Фольмера. В этом случае наиболее вероятно смена природы лимитирующей стадии РВВ на железном электроде, что весьма удовлетворительно коррелирует с электрохимическими измерениями.

Следует так же учитывать, что при наличии на поверхности металла несколько групп активных центров, каждая из которых характеризуется своим интервалом энергий адсорбции атомов Н. Монослойное заполнение одной такой группы АЦ может обусловить появление на ней $H_{\text{адс}}$ во втором слое без заполнения или полного заполнения активных центров других групп, на что указывалось ранее [11, 17].

Список литературы

1. Abou-Romia M.M., Hefny M.M. // J. Electroanal. Chem. 1982. V. 136. № 2. P. 339 – 344.
2. Delahay P., Vielstich W. // Amer. Chem. Soc. 1955. V. 77. P. 4955.
3. Enyo M. // I. Res. Inst. Catal Hokkaido Univ. 1979. V 27. N 2. P. 63 - 77.
4. Hurlen T. // Acta chem. Scand. 1960. V. 14. № 7. С. 1533 - 1554.
5. Marinovic V., Despic A.R. // J. Electroanal. Chem. 1997. V. 431. P. 127.
6. Marinovic V., Despic A.R. // J. Serb. Chem. Soc. 1998. V. 63. P. 545.
7. Vielstich W., Jahn D. // Z. Elektrochem. 1960. B. 64. S. 43.
8. Афанасьев Б.Н. Кинетика электрохимических реакций в присутствии поверхностно-активных веществ. Сообщение I. Роль стадии проникновения иона деполяризатора в поверхностный слой в электрохимической кинетике. Деп. в ВИНТИ. № 4434 – 83. М. 1983.
9. Балыбин Д.В. Влияние гуанидина и фенилбигуанидина на кинетику реакции выделения водорода на железе и его диффузию через стальную мембрану в этиленгликолевых растворах HCl // Автореф. дисс...канд. хим. наук. Тамбов. 2011. 20 с.
10. Введенский А.В., Гуторов И.А., Морозова Н.Б. Кинетика катодного выделения водорода на переходных металлах // Конденсированные среды и межфазные границы. 2010. Т. 12, №4. С. 288 – 300.
11. Гохштейн А.Я. обмен между двумя видами адсорбированного водорода // Электрохимия. 1971 Т. 7. № 4. С. 594.
12. Григорьев В.П., Экилик В.В. // Защита металлов. 1968. Т. 4. № 5. С. 582–584.
13. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Батраков В.В. Адсорбция органических соединений на электродах. М.: Наука. 1968. 235 с.
14. Зарапина И.В. Влияние сольватационных эффектов и присутствии пиридина на кинетику реакции выделения водорода и его диффузию через стальную мембрану в кислых этиленгликолевых растворах // Автореф. дисс...канд. хим. наук. Тамбов. 2006. 23 с.
15. Кичигин В.И., Шадрин О.А., Шерстобитова И.Н. Влияние адсорбированных алифатических спиртов на кинетику разряда ионов водорода на железном электроде. Деп. в ВИНТИ 12.03.82. № 1057 – 82. М. 1982.
16. Кришталек Л.И. // Итоги науки и техники. Электрохимия. М.: ВИНТИ. 1977. Т. 12. С. 5 – 55.
17. Кришталек Л.И., Кузьменко Б.Б. Об адсорбции водорода на вольфраме в растворе щелочи // Электрохимия. 1973. Т 9. № 5. С. 664 – 666.
18. Кузнецов В.А. Графическое представление процесса выделения водорода на железе в широком спектре частот // Электрохимия. 1983. Т. 21. № 19. №8 С. 1107 – 1110.

19. Кузнецов В.В., Халдеев Г.В., Кичигин В.И. Наводороживание металлов в электролитах. М.: Машиностроение, 1993. 244 с.
20. Подобаев Н.И., Столяров А.А. // Защита металлов. 1971. Т. 7. № 5. С. 78 – 79.
21. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия. 1967. 856 с.
22. Фрумкин А.Н. Избранные труды: Электродные процессы. М.: Наука. 1967. 334 с.
23. Фрумкин А.Н. Перенапряжение водорода. М.: Наука. 1988. 240с.
24. Фрумкин А.Н., Багоцкий В.С., Иофа З.А., Кабанов Б.Н. Кинетика электродных процессов. М.: Изд-во МГУ. 1952. 319 с.

СЕКЦИЯ №43.

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.06)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭЛАСТИЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Минеев А.Е., Рябов С.А.

ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
г. Нижний Новгород

Вступление.

Создание полимерных композитов открывает возможность существенно улучшить свойства полимерных материалов. Актуальным направлением в этой области является создание полимерных композитов на основе углеродных нанотрубок (УНТ). Изучение полимерных композитов с участием углеродных нанотрубок начато вскоре после открытия этих трубок в 1991 г. Уникальная структура УНТ делает их обладателями несравнимых значений прочности при малом удельном весе. Такие свойства УНТ с учетом того, что их диаметр составляет всего несколько нанометров, а длина – от единиц до сотен микрон, обуславливают возможность создания композиционных материалов с высокими значениями электропроводности, расширенным интервалом рабочих температур и некоторыми специальными свойствами, в частности физико-механическими.

Создание таких композитов сопровождается рядом проблем, появляющихся на стадии введения УНТ в полимерную композицию. Для достижения максимальной эффективности от использования УНТ, как правило, необходимо их равномерное распределение в объеме полимера, а также высокая адгезия полимерной матрицы к поверхности нанотрубок. Однако вследствие большой удельной поверхности (до 1000 м²/г) УНТ склонны к образованию агломератов, т.е. к неравномерному распределению в полимере, а графеновая поверхность нанотрубки может образовывать лишь слабые Ван-дер-Ваальсовы связи с полимерной матрицей, поэтому высокая адгезия полимера к УНТ, как правило, не характерна. Наиболее перспективным путем для решения указанных выше проблем является функционализация УНТ – химические превращения, ведущие к образованию активных функциональных групп на поверхности нанотрубок. Функциональные группы на поверхности УНТ способны образовывать ковалентные связи с макромолекулами, что обеспечивает их равномерное распределение в объеме полимера и высокую адгезию последнего к нанотрубкам.

Целью работы является изучение физико-механических свойств, в частности – эластичности, полимерных композиций, на основе углеродных нанотрубок функционализированных метилдиэтаноломином и триэтаноломином.

Экспериментальная часть

В работе использовали двухкомпонентную систему, компонентом «А» в которой является акриловая смола модифицированная гидроксильными группами (Setux 1910), компонентом «Б» - производное гексаметилендиизоцианата (Desmodur N75), нативные УНТ, функционализированные УНТ (фУНТ) метилдиэтаноломином и триэтаноломином.

Для приготовления полимерных композитов готовили навески компонента А (гидроксил-модифицированный акрилат), компонента Б (алифатический диизоцианат) и наполнителя. Массовую долю модификатора (УНТ и фУНТ) в композите варьировали от 0,01 до 0,1%. Навески наполнителя добавляли в компонент А и обрабатывали смесь ультразвуком при помощи погружного рожкового диспергатора УЗГ 13 – 0.1/22 в течение 30 мин при перемешивании на магнитной мешалке с одновременным охлаждением в проточной воде. Далее в дисперсию добавляли отвердитель (компонент Б) в соотношении функциональных групп NCO : OH = 1,1 : 1,0, и тщательно перемешивали. После этого смесь переносили в фторопластовую форму. В свою очередь форму помещали в сушильный шкаф и выдерживали 60 минут при 60° С.

Физико-механические характеристики (прочность при растяжении, модуль упругости, удлинение при разрыве) композитов определяли на разрывной машине *Roell/Zwick Z005*. Испытания проводили на образцах в виде прямоугольников с закругленными углами шириной 9 мм и толщиной 30 мкм при скорости растяжения 10 мм/мин. Для каждого состава композита измеряли не менее 10 образцов.

Результаты и обсуждения

Исследования физико-механических свойств, включали измерения эластичности в испытаниях на растяжение. Полученные усредненные деформационные кривые представлены на рис. 1.

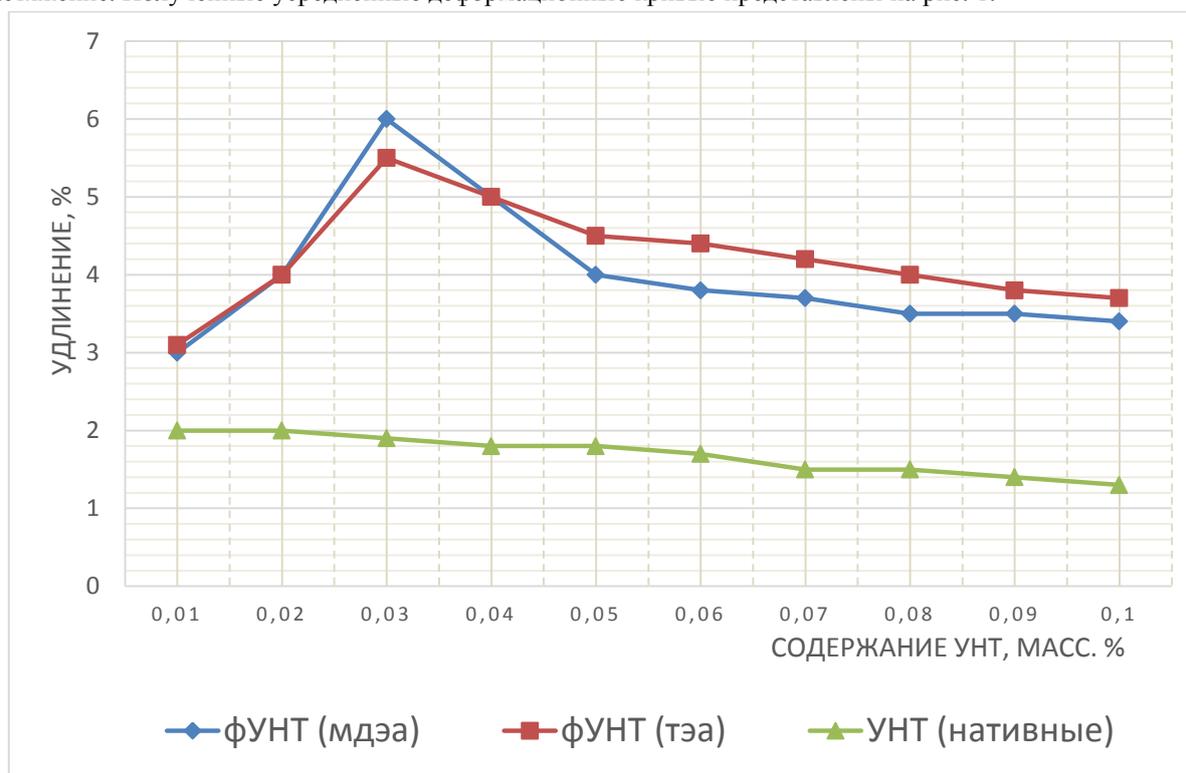


Рис. 1. Зависимость удлинения композитов от содержания УНТ

Рассмотрено влияние количества модификаторов на физико-механические параметры, из рисунка 1, видно, что с увеличением содержания модификатора вплоть до определенного значения (максимум на кривой) наблюдается эффект увеличения эластичности, далее следует спад и выход на плато. В случае с фУНТ (мдэа) и фУНТ (тэа) максимум напряжения и эластичности наблюдается при концентрации 0,03%. При добавлении не функционализированных УНТ в композит обнаружена тенденция к уменьшению физико-механических характеристик. Это объясняется отсутствием взаимодействия УНТ с матрицей полимера, а как следствие низкий показатель величины межфазного взаимодействия.

Увеличение физико-механических характеристик связано с образованием упорядоченных структур, для которых малые количества высокодисперсной фазы являются фактически зародышами «кристаллизации» в полимерной матрице, которая достигается при определенной концентрации. Дальнейшее увеличение концентрации наполнителя приводит к постепенному уменьшению физико-механических характеристик. Снижение прочности и эластичности при концентрациях фУНТ более 0,03% может объясняться агломерацией наночастиц и, как следствие, снижением величины межфазного взаимодействия за счет уменьшения поверхности контакта с полимерной матрицей.

Выводы

1. Показана возможность регулирования механических свойств ПУ- композиций при введении предельно низких количеств модификаторов.
2. Показано существенное влияние предельно низких количеств фУНТ (тэа) и фУНТ (мдэа) на физико-механические характеристики ПУ-композиций, определены оптимальные концентрации модификаторов.

Список литературы

- [1] Захарычев Е.А. «Разработка полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и функционализированных углеродных нанотрубок». 2013. Нижний Новгород. С. 4-10. ННГУ.
- [2] Каблов, Е.Н. Механизм наноструктурирования полимерных матриц, легированных углеродными нанотрубками / Е.Н. Каблов, В.Т. Минаков, Р.В. Акатенков и др. // Наноматериалы: доклады Харьковской нанотехнологической ассамблеи. – Харьков, Украина, 2008. – Т. 2. – С. 177–180.
- [3] Низкочастотный комплекс импедансных измерений характеристик проводящих сред. /2008 г. А.В. Афанасьев, А.Н. Москвичев, А.А. Москвичев, В.А. Односеццев, И.Я. Орлов.
- [4] Полиуретаны. Покрытия. Клеи. Герметики. (пер. с англ.)/ У.М. Вестус.: Пэйгт Медия 2010. с. 399-405.
- [5] Ajayan P.M., Stephan O., Colliex C., Trauth D. // Science. 1994. V. 265. № 5176. P. 1212.
- [6] Behnam, A. Effects of nanotube alignment and measurement direction on percolation in single-wall carbon nanotube films / A. Behnam, J. Guo, A. Ural // Journal of Applied Physics. – 2007. – V. 102. – P. 44313: 1–7

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Минеев А.Е., Рябов С.А.

ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
г. Нижний Новгород

Вступление.

Создание полимерных композитов открывает возможность существенно улучшить свойства полимерных материалов. Актуальным направлением в этой области является создание полимерных композитов на основе углеродных нанотрубок (УНТ). Изучение полимерных композитов с участием углеродных нанотрубок начато вскоре после открытия этих трубок в 1991 г. Уникальная структура УНТ делает их обладателями несравнимых значений прочности при малом удельном весе. Такие свойства УНТ с учетом того, что их диаметр составляет всего несколько нанометров, а длина – от единиц до сотен микрон, обуславливают возможность создания композиционных материалов с высокими значениями электропроводности, расширенным интервалом рабочих температур и некоторыми специальными свойствами, в частности физико-механическими.

Создание таких композитов сопровождается рядом проблем, появляющихся на стадии введения УНТ в полимерную композицию. Для достижения максимальной эффективности от использования УНТ, как правило, необходимо их равномерное распределение в объеме полимера, а также высокая адгезия полимерной матрицы к поверхности нанотрубок. Однако вследствие большой удельной поверхности (до $1000 \text{ м}^2/\text{г}$) УНТ склонны к образованию агломератов, т.е. к неравномерному распределению в полимере, а графеновая поверхность нанотрубки может образовывать лишь слабые Ван-дер-Ваальсовы связи с полимерной матрицей, поэтому высокая адгезия полимера к УНТ, как правило, не характерна. Наиболее перспективным путем для решения указанных выше проблем является функционализация УНТ – химические превращения, ведущие к образованию активных функциональных групп на поверхности нанотрубок. Функциональные группы на поверхности УНТ способны образовывать ковалентные связи с макромолекулами, что обеспечивает их равномерное распределение в объеме полимера и высокую адгезию последнего к нанотрубкам.

Целью работы является изучение физико-механических свойств полимерных композиций на основе углеродных нанотрубок функционализированных метилдиэтаноломином и триэтаноломином.

Экспериментальная часть

В работе использовали двухкомпонентную систему, компонентом «А» в которой является акриловая смола модифицированная гидроксильными группами (Desmophen 760), компонентом «Б» - производное гексаметилендиизоцианата (Desmodur N75), нативные УНТ, функционализированные УНТ (фУНТ) метилдиэтаноломином и триэтаноломином.

Для приготовления полимерных композитов готовили навески компонента А (гидроксил-модифицированный акрилат), компонента Б (алифатический диизоцианат) и наполнителя. Массовую долю модификатора (УНТ и фУНТ) в композите варьировали от 0,001 до 0,1%. Навески наполнителя добавляли в компонент А и обрабатывали смесь ультразвуком при помощи погружного рожкового диспергатора УЗГ 13 – 0.1/22 в течение 30 мин при перемешивании на магнитной мешалке с одновременным охлаждением в проточной воде. Далее в дисперсию добавляли отвердитель (компонент Б) в соотношении функциональных групп NCO:ОН=1:1, и тщательно перемешивали. После этого смесь переносили в фторопластовую форму. В свою очередь форму помещали в сушильный шкаф и выдерживали 60 минут при 60° С.

Физико-механические характеристики (прочность при растяжении, модуль упругости, удлинение при разрыве) композитов определяли на разрывной машине *Roell/Zwick Z005*. Испытания проводили на образцах в виде прямоугольников с закругленными углами шириной 9 мм и толщиной 30 мкм при скорости растяжения 10 мм/мин. Для каждого состава композита измеряли не менее 10 образцов.

Результаты и обсуждения

Исследования физико-механических свойств, включали измерения разрушающего напряжения и эластичности в испытаниях на растяжение. Полученные усредненные деформационные кривые представлены на рис. 1,2.

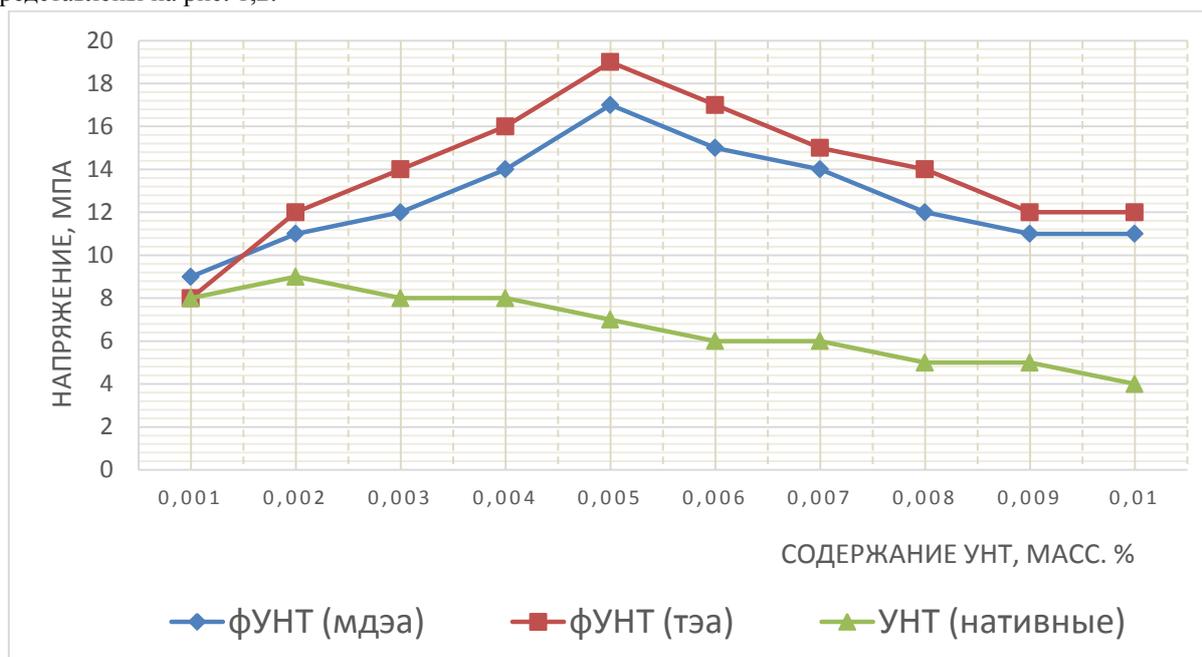


Рис. 1. Зависимость разрывного напряжения от концентрации УНТ.

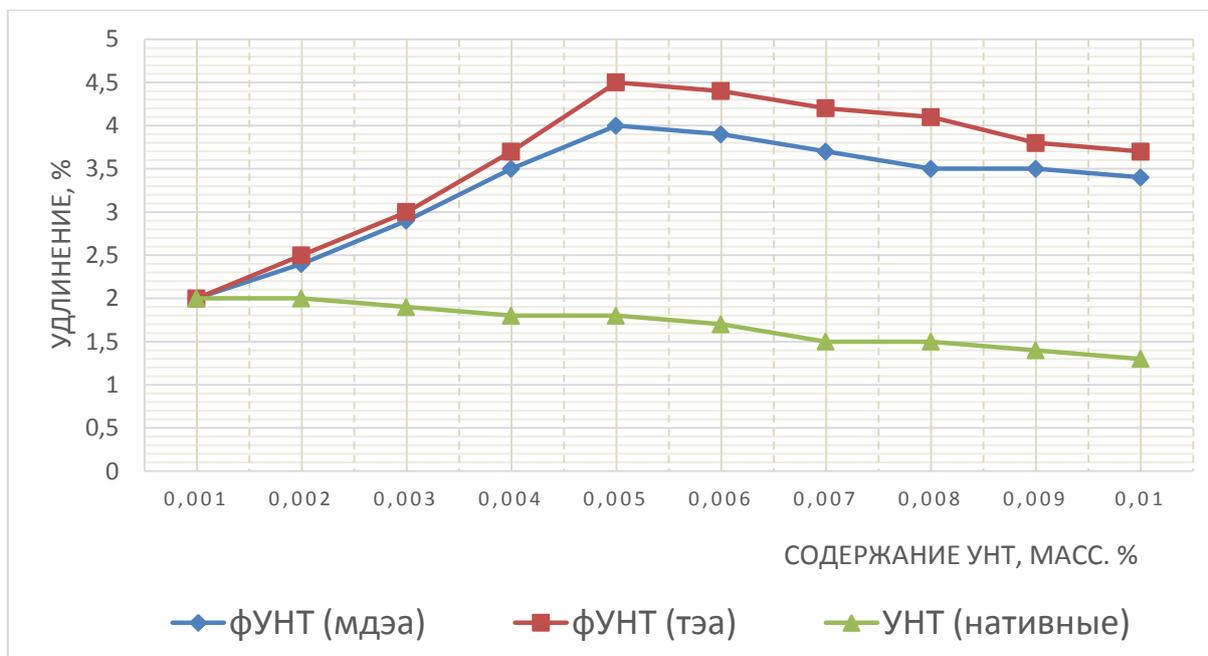


Рис. 2. Зависимость удлинения композитов от содержания УНТ.

Рассмотрено влияние количества модификаторов на физико-механические параметры, из рисунков 1, 2 видно, что с увеличением содержания модификатора вплоть до определенного значения (максимум на кривой) наблюдается эффект увеличения разрывного напряжения и эластичности, далее следует спад и выход на плато. В случае с фУНТ (мдэа) и фУНТ (тэа) максимум напряжения и эластичности наблюдается при концентрации 0,005%. При добавлении не функционализированных УНТ в композит обнаружена тенденция к уменьшению физико-механических характеристик. Это объясняется отсутствием взаимодействия УНТ с матрицей полимера, а как следствие низкий показатель величины межфазного взаимодействия.

Увеличение физико-механических характеристик связано с образованием упорядоченных структур, для которых малые количества высокодисперсной фазы являются фактически зародышами «кристаллизации» в полимерной матрице, которая достигается при определенной концентрации. Дальнейшее увеличение концентрации наполнителя приводит к постепенному уменьшению физико-механических характеристик. Снижение прочности и эластичности при концентрациях фУНТ более 0.005% может объясняться агломерацией наночастиц и, как следствие, снижением величины межфазного взаимодействия за счет уменьшения поверхности контакта с полимерной матрицей.

Выводы

1. Показана возможность регулирования механических свойств ПУ- композиций при введении предельно низких количеств модификаторов.
2. Показано существенное влияние предельно низких количеств фУНТ (тэа) и фУНТ (мдэа) на физико-механические характеристики ПУ-композиций, определены оптимальные концентрации модификаторов.

Список литературы

- [1] Захарычев Е.А. «Разработка полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и функционализированных углеродных нанотрубок». 2013. Нижний Новгород. С. 4-10. ННГУ.
- [2] Каблов, Е.Н. Механизм наноструктурирования полимерных матриц, легированных углеродными нанотрубками / Е.Н. Каблов, В.Т. Минаков, Р.В. Акатенков и др. // Наноматериалы: доклады Харьковской нанотехнологической ассамблеи. – Харьков, Украина, 2008. – Т. 2. – С. 177–180.
- [3] Низкочастотный комплекс импедансных измерений характеристик проводящих сред. /2008 г. А.В. Афанасьев, А.Н. Москвичев, А.А. Москвичев, В.А. Односевцев, И.Я. Орлов.
- [4] Полиуретаны. Покрyтия. Клеи. Герметики. (пер. с англ.)/ У.М. Вестус.: Пэйгт Медия 2010. с. 399-405.
- [5] Ajayan P.M., Stephan O., Colliex C., Trauth D. // Science. 1994. V. 265. № 5176. P. 1212.

[6] Behnam, A. Effects of nanotube alignment and measurement direction on percolation in single-wall carbon nanotube films / A. Behnam, J. Guo, A. Ural // Journal of Applied Physics. – 2007. – V. 102. – P. 44313: 1–7

СЕКЦИЯ №44.

ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.08)

СЕКЦИЯ №45.

ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.09)

СЕКЦИЯ №46.

БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.10)

СЕКЦИЯ №47.

КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.11)

СЕКЦИЯ №48.

БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.12)

СЕКЦИЯ №49.

НЕФТЕХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.13)

СЕКЦИЯ №50.

РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.14)

СЕКЦИЯ №51.

КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.15)

СЕКЦИЯ №52.

МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.16)

СЕКЦИЯ №53.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.17)**

СЕКЦИЯ №54.

ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.21)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.00.00)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.00)

СЕКЦИЯ №55.

РАДИОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.01)

**СЕКЦИЯ №56.
БИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.02)**

**СЕКЦИЯ №57.
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.03)**

**СЕКЦИЯ №58.
БИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.04)**

**СЕКЦИЯ №59.
ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.05)**

**СЕКЦИЯ №60.
БИОТЕХНОЛОГИЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ)
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.06)**

**ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВЫХ И ШТАММОВЫХ РАЗЛИЧИЙ КОЛЛАГЕНОЛИТИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ МИКРОМИЦЕТОВ**

Никитина З.К., Гордонова И.К.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений
(ВИЛАР), г. Москва

Микробиологический синтез протеаз имеет ряд преимуществ, таких как неограниченность источников получения БАВ, возможность экзогенной регуляции, отсутствие прионов. Среди протеолитических ферментов особое внимание привлекает коллагеназа – эндопептидаза, расщепляющая тройную спираль молекулы нерастворимого природного белка коллагена [1]. Коллагеназа может найти широкое применение во многих областях медицины [2-6]: в хирургии, терапии, гинекологии, стоматологии, а также в косметологии (антивозрастные средства). В связи с этим поиск новых продуцентов остается в настоящее время достаточно актуальной задачей. Целью настоящего исследования являлось изучение коллагенолитической активности микромицетов из биокolleкции ФГБНУ ВИЛАР.

Материалы и методы

В работе использовали следующие коллекционные штаммы: *Penicillium brevicompactum* F 37 и 49, *P. camemberti* F 45, *P. martensii* F 63, *Monilia implicata* F 15. Культуры микромицетов выращивали на скошенной поверхности агаризованной среды Чапека следующего состава (%): NaNO₃ – 0,2; KН₂PO₄ - 0,1; MgSO₄ x 7H₂O – 0,05; KCl – 0,05; FeSO₄x 7H₂O – 0,001; CaCO₃ – 0,3; сахароза – 2; агар – 2, (pH 6,8) в течение 7-ми суток при 26⁰С. Для проведения поверхностного культивирования использовали агаризованные среды, содержащие солевой фон среды Чапека с заменой сахарозы на 2% коллагена. Протеолитическую активность микроорганизма оценивали по диаметру колоний после посева микромицета на агаризованную среду. Периодически осуществляли замер диаметра колоний и зон лизиса в двух перпендикулярных направлениях. Активность биосинтеза ферментов оценивали по индексу лизиса субстратов, определяемому соотношением площади лизиса к площади колонии по следующей формуле: $I_{\text{лиз}} = D^2_{\text{лиз}} / D^2_{\text{кол}}$, где $D_{\text{лиз}}$ – диаметр зоны лизиса, $D_{\text{кол}}$ – диаметр колонии.

Результаты и обсуждение

Известно, что рост микроорганизмов на субстратах, содержащих белки в качестве единственного энергетического источника, позволяет судить об их потенциальной протеолитической активности. Появление зон лизиса белков вокруг колоний является показателем секреции ферментов в окружающую

среду. В связи с этим на первом этапе исследования фиксировались диаметры колоний и диаметры зон лизиса при культивировании микромицетов на средах с заменой сахарозы на коллаген (табл. 1).

Таблица 1

Параметры роста микромицетов на средах с заменой сахарозы на коллаген

№ штамма	Время культивирования, сутки											
	3		4		5		6		7		10	
	Дк, мм	Дл, мм	Дк, мм	Дл, мм	Дк, мм	Дл, мм	Дк, мм	Дл, мм	Дк, мм	Дл, мм	Дк, мм	Дл, мм
37	рн	-	9,0	26,2	19,0	36,2	25,0	38,4	27,0	40,5	28,4	40,8
49	рн	-	10,0	18,8	20,0	28,8	22,0	29,4	24,0	32,6	27,3	36,0
45	8,8	12,5	18,8	22,5	24,5	26,5	26,3	29,2	26,4	29,2	28,4	29,2
63	11,3	19,0	16,2	27,7	20,7	34,8	25,0	42,0	26,8	42,8	ин	ин
15	рн	-	3,7	-	8,8	-	9,8	-	9,5	-	12,6	18,4

Примечание: Дк — диаметр колоний; Дл – диаметр зон лизиса, рн – роста нет, ин – исследования не проводились.

Можно видеть, что все изученные микромицеты росли на средах с коллагеном и образовывали зоны лизиса. На модифицированной среде ранний рост и появление зон лизиса отмечалось у *P. camamberti* F 45 и *P. martensii* F 63, *P. brevicompactum* F 37, 49 и *Monilia implicata* F 15 образовывали видимые колонии позже на 1 день. Последняя культура на всех этапах культивирования росла значительно медленнее остальных и образовывала зоны лизиса только на 10 сутки. Следует отметить, что к 7 – 10 суткам культивирования диаметры колоний у всех грибов рода *Penicillium* были подобны и значительно превышали аналогичные показатели у *M. implicata*.

Необходимо отметить, что на всех этапах культивирования микромицетов при наличии визуального роста колоний обнаруживались отчетливо видимые зоны лизиса коллагена. При этом в процессе роста колоний отмечалось заметное увеличение диаметров зон лизиса. Исключение составлял *P. camamberti*, у которого на последних этапах культивирования рост колоний не сопровождается ростом зон лизиса.

Важным показателем для оценки способности микроорганизмов утилизировать трудно гидролизующие субстраты является их скорость роста на соответствующих средах. Анализ радиальных скоростей роста культур свидетельствует о различиях их адаптационных потенциалов (рис. 1).

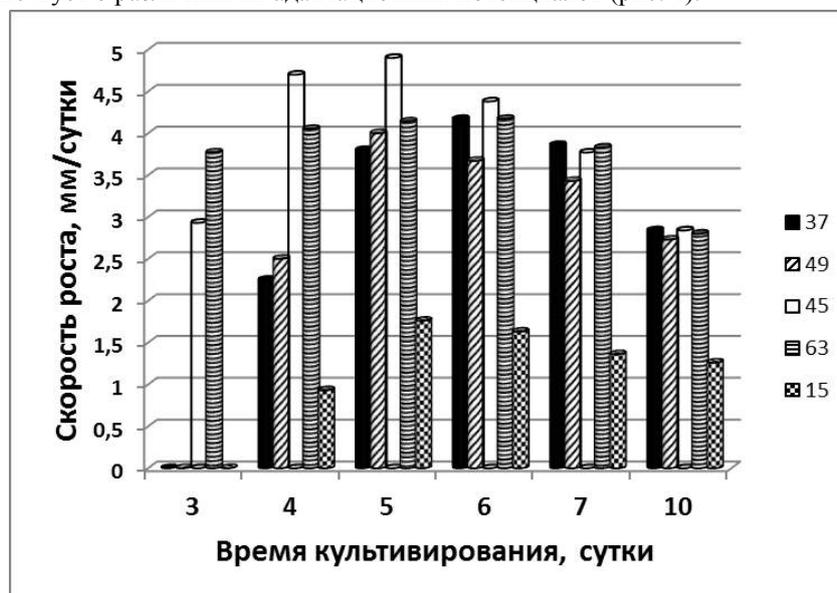


Рис. 1. Радиальная скорость роста микромицетов на средах с заменой сахарозы на коллаген. Цифрами указаны номера штаммов.

Наибольшая способность к адаптации отмечена для *P. martensii* и *P. camamberti*, для которых зарегистрированы высокие скорости роста уже на 3 сутки культивирования. Максимальные скорости роста этих культур также превышали аналогичные показатели у остальных грибов. Оба штамма *P. brevicompactum* обладали несколько меньшей способностью гидролизовать коллаген на начальных этапах роста, однако к 6

суткам их скорости роста практически сравнивались с другими штаммами *Penicillium*. Наименьший адаптационный потенциал на средах с заменой сахарозы на коллаген отмечен для представителя другого рода микромицетов – *Monilia*, повреждающего плоды косточковых культур.

Наряду с такими параметрами роста микроорганизмов, как диаметр колоний и скорость роста важным показателем является индекс лизиса. Индекс лизиса определяется соотношением площади колонии и площади зоны лизиса и характеризует удельную протеолитическую активность культуры, так как площадь колонии пропорциональна ее биомассе, а площадь зоны лизиса – активности секретируемых протеиназ. В связи с этим на следующем этапе исследования были рассчитаны индексы лизиса микромицетов при росте на средах, содержащих коллаген (табл. 2).

Таблица 2

Индексы лизиса микромицетов на средах с заменой сахарозы на коллаген

№ штамма	Время культивирования, сутки					
	3	4	5	6	7	10
37	рн	8,5	3,6	2,4	2,3	2,1
49	рн	3,5	2,1	1,8	1,9	1,7
45	2,0	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1
63	2,8	2,9	2,8	2,8	2,6	ин
15	рн	-	-	-	-	2,1

Можно видеть, что большинство индексов лизиса находится в диапазоне от 1 до 3,6. Исключение составляет индекс лизиса коллагена у *P. brevicompactum* F 37, который был равен 8,5 на 4 сутки культивирования, однако затем он снижался в 4 раза к 10 суткам. Следует отметить, что для трех из четырех исследованных представителей рода *Penicillium* максимальные индексы лизиса фиксировались на первых этапах роста колоний. Только у *P. martensii* отмечалась стабильность указанного показателя в процессе всего культивирования, что может свидетельствовать о более высоком гидролитическом потенциале данного штамма. Средние индексы лизиса, рассчитанные за все время наблюдения, менялись в следующем ряду *P. brevicompactum* F 37 > *P. martensii* > *P. brevicompactum* F 49 > *P. camamberti* > *M. implicata*.

Выводы

1. Все исследованные штаммы микромицетов можно рассматривать в качестве потенциальных продуцентов коллагеназ.
2. *M. implicata* обладает наименьшим гидролитическим потенциалом.
3. Из остальных четырех штаммов наибольший интерес представляет *P. martensii*, для которого характерна стабильная коллагенолитическая активность на всех этапах культивирования и *P. brevicompactum* F 37 с наибольшим средним за все время культивирования индексом лизиса.

Список литературы

1. Можина Н.В., Руденская Г.Н. Коллагенолитические ферменты патогенных микроорганизмов. // Биомедицинская химия – 2004. – Т. 50, № 6. – С. 539-553
2. Alster N.S., Tansi E.L. Hypertrophic scars and keloids: etiology and management. // Am. J. Clin. Dermatol. – 2004. – V. 4, № 4. – P. 39-42
3. Mutalir S. Treatment of keloids and hypertrophic scars. // Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol. – 2005. – V. 71, № 1. – P. 3-8
4. Peled Z.V., Phelbs E.D., Updike D.L. Matrix metalloproteinases and the ontogeny of scarless repair: the other side of the wound healing balance. // Plast. Reconstr. Surg. – 2002. – V. 110, № 3. – P. 808-811
5. Neely A.N., Clendening C.E., Gardner J. Gelatinase activity in reloads and hypertrophic scars. // Wound Repair Regen. – 1999. – V. 7, № 3. – P. 166-171
6. Friedman K., Pollack S.V., Manning T., Pinnell S.R. Degradation of porcine dermal connective tissue by collagenase and hyaluronidase. // Br. J. Dermatol. – 1986. – V. 115, № 4. – P. 403-408

**СЕКЦИЯ №61.
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.07)**

**СЕКЦИЯ №62.
БИОИНЖЕНЕРИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.08)**

**СЕКЦИЯ №63.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
03.01.09)**

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.00)

**СЕКЦИЯ № 64
БОТАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.01)**

**СЕКЦИЯ №65.
ВИРУСОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.02)**

**СЕКЦИЯ №66.
МИКРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.03)**

**СЕКЦИЯ №67.
ЗООЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.04)**

**СЕКЦИЯ №68.
ЭНТОМОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.05)**

**СЕКЦИЯ №69.
ИХТИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.06)**

**СЕКЦИЯ №70.
ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.07)**

**СЕКЦИЯ №71.
ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.08)**

**СЕКЦИЯ №72.
БИОГЕОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.09)**

**СЕКЦИЯ №73.
ГИДРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.10)**

**СЕКЦИЯ №74.
ПАРАЗИТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.11)**

**СЕКЦИЯ №75.
МИКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.12)**

**СЕКЦИЯ №76.
ПОЧВОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.13)**

**СЕКЦИЯ №77.
БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.14)**

ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.00)

**СЕКЦИЯ №78.
ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.01)**

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТРОМБОЦИТАРНОГО ГЕМОСТАЗА У ПОРОСЯТ
В ТЕЧЕНИЕ ФАЗЫ МОЛОЧНО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

Ткачева Е.С.¹, Завалишина С.Ю.²

¹ Всероссийский НИИ физиологии, биохимии и питания животных, г. Боровск, Россия

² Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия

Кровь – это функционально крайне важная жидкая среда организма. Она обеспечивает его непрерывную интеграцию и биорегуляцию в условиях постоянно меняющейся среды [1]. Важнейшая роль крови связана с непрерывным поддержанием жизнеспособности и резистентности организма вследствие постоянной транспортировки ею кислорода и необходимых питательных веществ во все ткани организма с непрерывным удалением из них продуктов обмена. Данные процессы текут в просвете капилляров, в связи с чем успешность кровотока в них обладает особой важностью для сохранения физиологического оптимума в организме. Успешность процесса микроциркуляции определяет процессы не только метаболизма, но и роста и сохранения резистентности животного [3].

Несомненной хозяйственной значимостью обладают данные процессы у различных видов продуктивных животных. Это объясняется тем, что от их оптимума сильно зависит степень реализации потенциала продуктивных характеристик этих животных, а значит степень экономической эффективности их содержания, выращивания и откорма [7].

Физиология крови у свиней только начинает подробно изучаться. В настоящее время не все аспекты микроциркуляции у поросят, находящихся в разном возрасте полностью не ясны. В более ранних исследованиях основное внимание уделялось различным реологическим показателям эритроцитов, которые являются самой многочисленной группой клеток крови. Удалось установить, что с возрастом процессы микроциркуляции могут меняться, а порой нарушаться в результате влияний факторов неблагоприятной природы. При этом у поросят до сих пор уделяют мало вниманию функциональным моментам тромбоцитов, способным сильно влиять на течение процессов микроциркуляции во всех тканях [5].

Ранее при проведении исследований на человеке была установлена высокая функциональная роль тромбоцитов в деятельности гемостаза в целом. Ее принято связывать с точкой зрения, что тромбоциты – это начальное звено его функционирования и участники основных гемостатических механизмов. Вместе с тем, требуется уточнение аспектов активности тромбоцитов у поросят в течение третьей фазы их раннего онтогенеза. Большая функциональная значимость их активности у поросят в течение этого периода жизни связана с влиянием их на анаболические процессы в организме и развитие их различных аспектов функциональных показателей при смене характера питания [2]. Получение новой в этом плане информации о любых аспектах тромбоцитарных функций у поросят в течение фазы молочно-растительного питания поможет в ходе разработки действенных подходов к интенсификации свиноводства разными способами.

Цель: выяснить физиологическую динамику тромбоцитарной активности у поросят за время фазы молочно-растительного питания.

Методы исследования. В исследовании были взяты на 21 сутки жизни 37 здоровых поросят, принадлежащих к породе крупная белая. Всех поросят получили от полностью здоровых свиноматок 2-3 опоросом. Все животные за время наблюдения осматривались и обследовались пятикратно: на 21 сутки, на 25 сутки, на 30 сутки, на 35 сутки и на 40 сутки их онтогенеза.

В проведенном исследовании у наблюдаемых поросят оценивали микрометодом *in vitro* агрегацию тромбоцитов (АТ), применив при этом следующий ряд индукторов: с тромбином (в дозе 0,125 ед/мл), с АДФ (в дозе $0,5 \times 10^{-4}$ М), с H_2O_2 (в дозе $7,3 \times 10^{-3}$ М), с коллагеном (в дозе разведение 1:2 основной суспензии), с ристомицином (в дозе 0,8 мг/мл), с адреналином (в дозе $5,0 \times 10^{-6}$ М). В исследовании использовали плазму поросят, которую предварительно стандартизовали по количественному содержанию в ней тромбоцитов до величины 200×10^9 тромбоцитов. Состояние внутрисосудистой агрегационной способности тромбоцитов в работе выясняли, применяя фазовоконтрастную микроскопию.

В работе косвенно в кровяных пластинках у взятых под наблюдение поросят определяли выраженность генерации тромбосана и оценивали ферментную активность тромбоцитарных энзимов его образования – циклооксигеназы и тромбосансинтазы. Это производили путем оценки АТ в ходе трех проб переноса при помощи фотоэлектроколориметра. В тромбоцитах наблюдаемых поросят количественно было оценено содержание АДФ и активность его секреции на фоне стимуляции кровяных пластинок путем добавления в плазму тромбина.

Все полученные в работе результаты были обработаны критерием Стьюдента.

Результаты исследований. У наблюдаемых поросят отмечено в крови нормальное содержание тромбоцитов. У животных на 21 сутки жизни время АТ в ответ на коллаген составляло $29,0 \pm 0,08$ с. Это время постепенно уменьшалось до величины $24,5 \pm 0,05$ с к концу фазы молочно-растительного питания. Сходное ускорение процесса АТ у поросят в ходе фазы молочно-растительного питания выявлено в ответ на АДФ на 15,2%, в ответ на H_2O_2 на 10,0% и в ответ на ристомицин на 13,3%. Немного позднее наступала АТ в ответ на тромбин (к концу фазы она составила $36,0 \pm 0,07$ с) и АТ в ответ на адреналин (к концу фазы достигла $85,0 \pm 0,06$ с).

У наблюдаемых поросят в ходе фазы молочно-растительного питания отмечено постепенное нарастание числа беспрепятственно перемещающихся по крови мелких и крупных агрегатов тромбоцитов. Их содержание на 40 сутки жизни животных составляло $6,0 \pm 0,09$ на 100 свободных тромбоцитов и $0,36 \pm 0,007$ на 100 свободных тромбоцитов. При этом у них отмечен рост в ходе наблюдения числа тромбоцитов, участвующих в агрегатообразовании, на 15,0%.

В ходе наблюдения у поросят молочно-растительного питания выявлено постепенное нарастание выраженности тромбосанообразования в тромбоцитах. На это указывал рост активности АТ в проведенной простой пробе переноса (интенсивность возросла с $41,4 \pm 0,06\%$ до $48,8 \pm 0,07\%$). В основе этого лежала активация в кровяных пластинках наблюдаемых поросят обоих энзимов его генерации тромбосансинтазы и циклооксигеназы. Выраженность восстановления АТ в пробе с коллагеном и аспирином, дающая возможность косвенно оценивать выраженность циклооксигеназы в тромбоцитах, повысилась за период наблюдения с $75,0 \pm 0,08\%$ до уровня $78,7 \pm 0,12\%$. Степень восстановления активности АТ в коллаген-имидазольной пробе, дающей основания косвенно оценить в исследуемых кровяных пластинках интенсивность ферментных свойств тромбосансинтазы, также возросла у поросят в ходе наблюдения с величины $64,2 \pm 0,07\%$ до уровня $69,6 \pm 0,09\%$. При этом было отмечено у поросят в ходе их роста за время фазы молочно-растительного питания увеличения содержания в их кровяных пластинках АДФ (на 12,5%) и интенсификацию его секреции их них (на 14,1%) в условиях стимуляции.

Обсуждение. Продолжение интенсификации всех аспектов свиноводства сейчас возможна при условии дополнительного накопления большого объема знаний по физиологии свиней и особенно поросят. Их активное получение с последующим применением на практике должно усилить функционирование всех жизненно важных систем и органов у поросят. Это должно серьезно ускорить процессы их развития [7]. Особое место среди этих систем имеет система гемостаза. При этом в ее работе достаточно большую роль, как считается, играют тромбоциты. Их функциональная активность в ходе всего онтогенеза существенно определяет состояние реологии крови в микроциркуляторном русле и в результате этого активность метаболизма в тканях [6]. В виду большой физиологической важности активности тромбоцитарного гемостаза и основных механизмов его непрерывно реализующих, было решено выяснить их состояние в

условиях смены состава потребляемых кормов у поросят, то есть на протяжении фазы молочно-растительного питания.

Рассмотрев все полученные результаты, есть основания считать, что у поросят в ходе нормального онтогенеза фазы молочно-растительного питания тромбоцитарная адгезия усиливается. В основе данного процесса лежит одновременное нарастание в их крови уровня фактора Виллебранда (FW), который является кофактором для адгезии тромбоцитов и увеличение числа рецепторов к нему – (GPI в) на поверхности их мембран. На это у взятых под наблюдение поросят можно было судить по существенному ускорению процесса агрегации их кровяных пластинок взятых под наблюдение поросят можно было по существенному ускорению процесса агрегации их кровяных пластинок в ответ на попадание в плазму ристомидина. Это связано с тем, что он может влиять на состояние тромбоцитов сходно с субэндотелиальными сосудистыми структурами. В ходе процесса адгезии FW соединяется одним локусом своей молекулы с молекулой коллагена, а другим локусом с тромбоцитом, контактируя с тромбоцитарным рецептором – гликопротеидом Iв. Это формирует «цепочку» адгезии: молекула коллагена – FW – GPIв. Найденное ускорение АТ в ответ на действие прочих индукторов также показало у поросят нарастание между 21 и 40 сутками жизни числа рецепторов к ним на мембранах кровяных пластинок. Также это говорило об активации у них тромбоцитарных механизмов АТ в ответ на сильные и слабые индукторы агрегации *in vitro*, что полностью аналогично ситуации с агрегацией тромбоцитов *in vivo*. Функционально значимым механизмом ее интенсификации у взятых в работу поросят в ответ на все индукторы можно считать усиление выраженности экспрессии на их мембранах гликопротеидов, являющихся фибриногеновыми рецепторами (GP Iв – IIIа). В этих условиях неизбежно наступает усиление каталитических возможностей фосфолипидов их мембран и нарастание генерации на их поверхности активного фактора X и тромбина. Данный процесс весьма значимо стимулирует работу гемостаза в целом.

Повышение количества агрегатов тромбоцитов у поросят в крови за фазу молочно-растительного питания указывает на усиление работы их поверхностных рецепторов и многих пострецепторных механизмов. Это вело к повышению выраженности тромбоцитарных адгезии, агрегации и секреции [4].

Еще очень функционально значимыми являются внутритромбоцитарные механизмы, способствующие повышению активности тромбоцитов у поросят на протяжении всей фазы молочно-растительного питания, нужно считать рост в них образования тромбосана за счет повышения активности в них ферментов циклооксигеназы и тромбосансинтазы. Данная ситуация значимо дополнялась в этом возрасте у поросят ростом содержания в плотных гранулах тромбоцитов АДФ и усилением его секреции из них в условиях стимуляции [2,3].

Заключение. Усиление функциональной активности тромбоцитов у поросят в течение фазы молочно-растительного питания нужно рассматривать как результат усиления функционирования их рецепторных и внутритромбоцитарных процессов. В этом возрасте у поросят отмечается рост выраженности их адгезии, агрегации и секреции. Биологический смысл найденного усиления тромбоцитарных функций у поросят в ходе молочно-растительного питания заключается в обеспечении поддержания на функционально необходимом уровне у них процессов микроциркуляции во всех тканях. Активность этого процесса, с одной стороны, соответствовала видовым характеристикам поросят, а, с другой, выраженности средовых влияний. Рост тромбоцитарной активности у наблюдаемых поросят в ходе фазы молочно-растительного питания следует считать важной видовой адаптивной реакцией, которая может влиять на процессы их роста и развития.

Список литературы

1. Кутафина, Н.В. Тромбоцитарные механизмы на фоне процессов роста у крупного рогатого скота / Н.В. Кутафина // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2015.– №8.– С.37-42.
2. Краснова, Е.Г. Гемостатически значимая активность сосудов у поросят при потреблении растительных кормов / Е.Г. Краснова, И.Н. Медведев // Сельскохозяйственная биология.–2013.–№2.–С.88-92.
3. Глаголева, Т.И. Онтогенетическая динамика основных гематологических показателей у крупного рогатого скота / Т.И. Глаголева // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. –2016.– №5.– С.66-69.
4. Максимов, В.И. Основы физиологии / В.И. Максимов, И.Н. Медведев. – Санкт-Петербург: издательство «Лань», 2013.–288с.

5. Медведев, И.Н. Агрегация и цитоархитектоника эритроцитов у поросят, потребляющих растительные корма, в экологических условиях центральной России / И.Н. Медведев, А.В. Парахневич // Сельскохозяйственная биология.–2013.–№4.– С.110-114.
6. Медведев, И.Н. Функциональные характеристики тромбоцитов и эритроцитов у крупного рогатого скота / И.Н. Медведев, Н.В. Кутафина // Ветеринария, зоотехния и биотехнология.–2015.–№8.–С.24-36.
7. Смолин, С.Г. Физиология и этология животных / С.Г. Смолин.– Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 628 с.

СЕКЦИЯ №79.

АНТРОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.02)

СЕКЦИЯ №80.

ИММУНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.03)

СЕКЦИЯ №81.

КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ, ЦИТОЛОГИЯ, ГИСТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.04)

СЕКЦИЯ №82.

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ, ЭМБРИОЛОГИЯ(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.05)

СЕКЦИЯ №83.

НЕЙРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.06)

ГЕОГРАФИЯ

СЕКЦИЯ №84.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.23)

СЕКЦИЯ №85.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.24)

СЕКЦИЯ №86.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.25)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СЕКЦИЯ №87.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

ГЕОЛОГИЯ

СЕКЦИЯ №88.

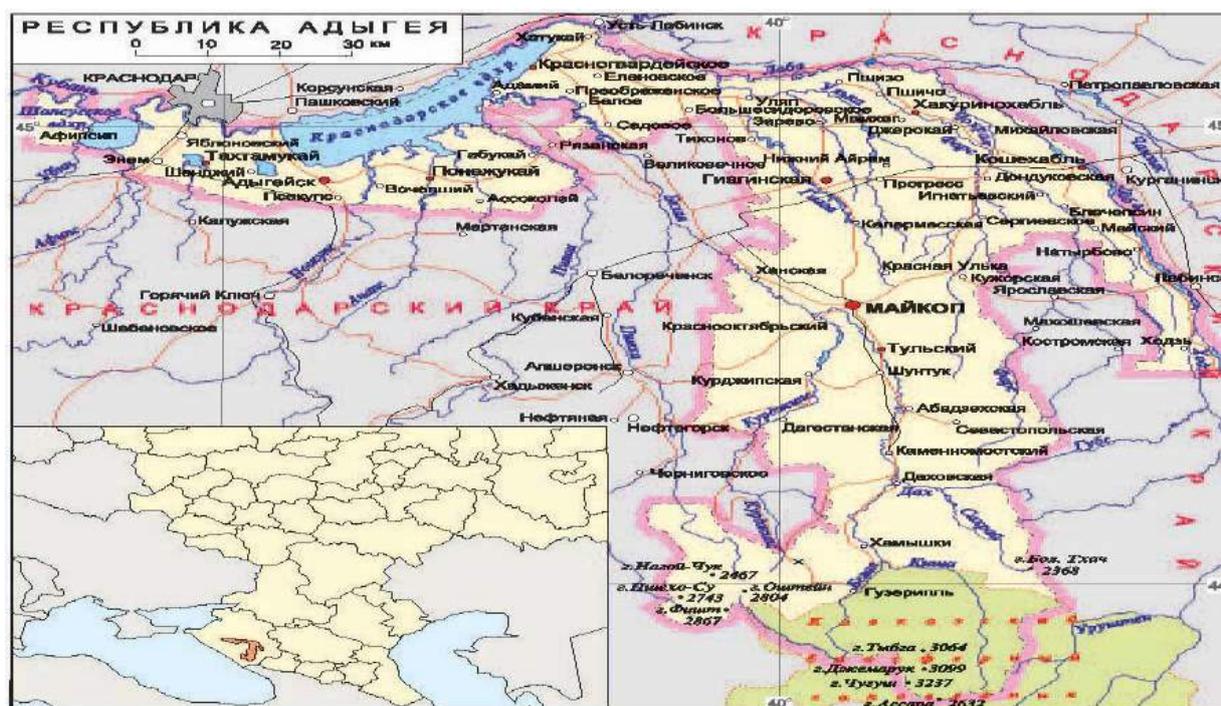
РАЗВИТИЕ ГЕОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТА В СОСТАВЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОЛОГИЯ» ПО ПРОФИЛЮ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В МАЙКОПСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (МГТУ)

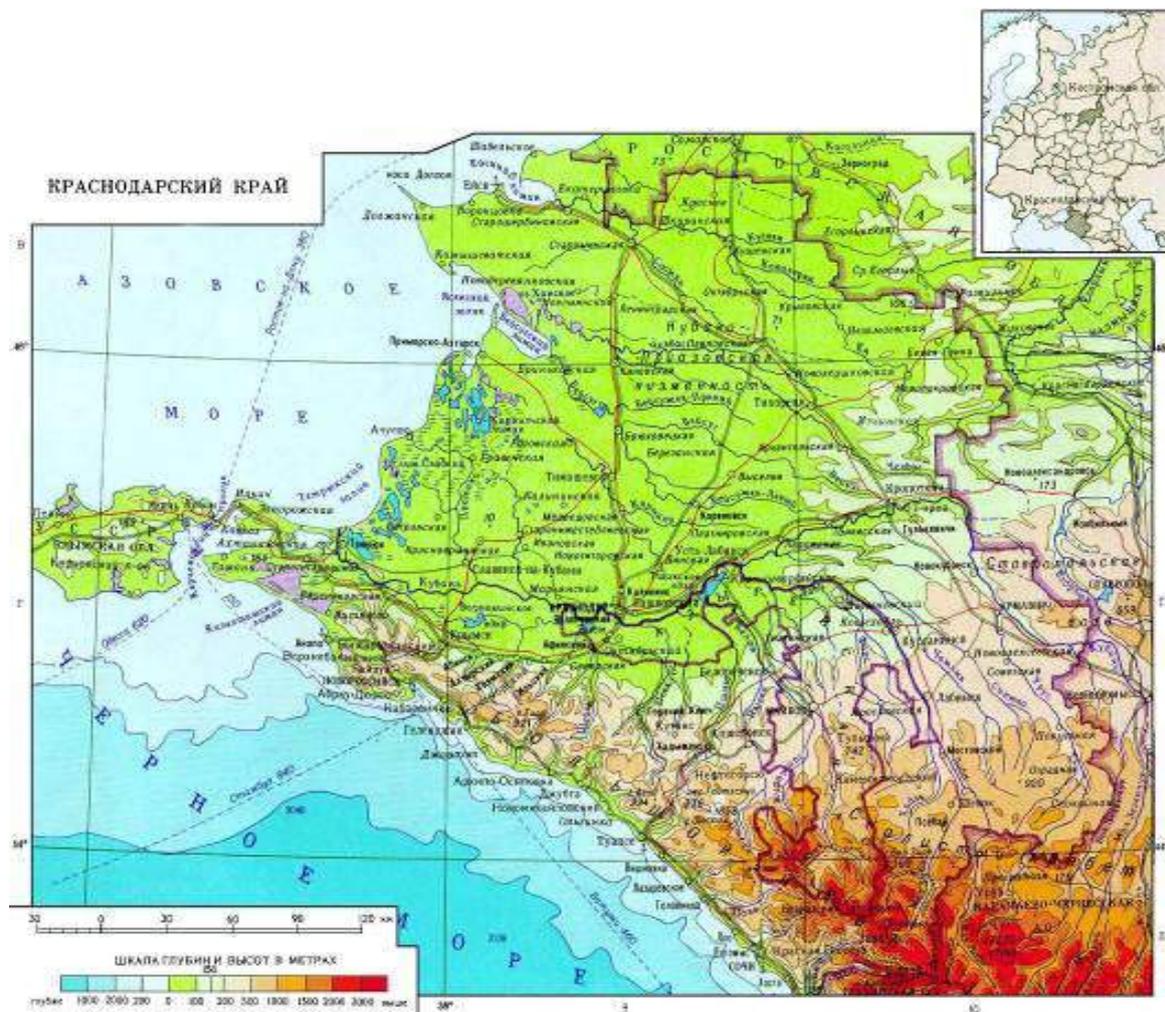
Константинов Ю.А., Синельникова И.Е.

ФГБОУ ВПО «Майкопский Государственный Технологический Университет», г. Майкоп

Инженерная геология изучает природную геологическую обстановку местности (участка строительства) до начала строительства, а также определяет те возможности изменения, которые произойдут в геологической среде, в первую очередь в группах, как в процессе строительных работ, так и при эксплуатации зданий и сооружений. В наши дни ни одно здание или сооружение не может быть построено без соответствующих инженерно-геологических работ и геологических исследований (6,7).



Наиболее полный учет природных в строительстве позволяет выбирать наиболее экономичные и технически рациональные варианты зданий и сооружений, обеспечивает высокую их устойчивость, надежную эксплуатацию, создает условия для решения вопросов охраны и природной среды. В настоящее время актуальность подготовки строителей в области инженерной геологии возрастает, учитывая активное освоение южной части Майкопского района Республики Адыгея (6,7).



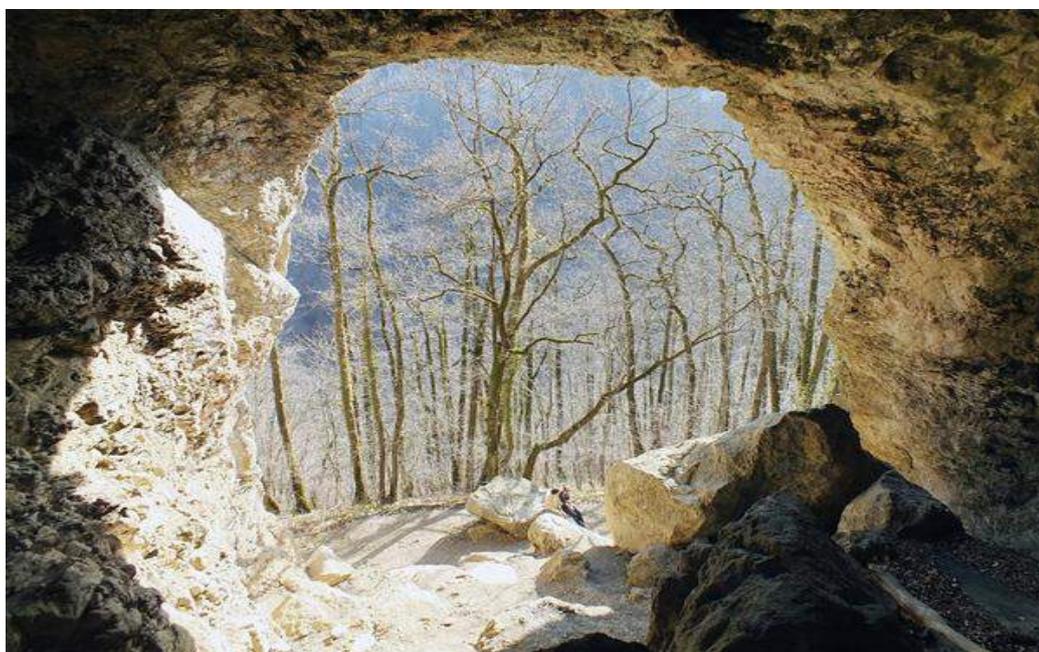
Геологическая деятельность, совершаемая подземными водами, заключается прежде всего в растворении минералов или горных пород, по которым они движутся. Растворяющая способность подземных вод значительно усиливается с повышением давления и температуры, а также при наличии растворенных в них газов. В частности, химически чистая вода оказывает на известняки незначительное растворяющее действие, но в присутствии углекислого газа агрессивность воды резко повышается.

Наиболее легко растворяются такие минералы, как галит, сильвин, кальцит, доломит, гипс и др. В районах распространения пород, сложенных этими минералами, вода, проникая по трещинам и порам, растворяет (выщелачивает) отдельные зерна минералов и после установления сквозного стока уносит их в растворенном виде. Таким образом, подземное выщелачивание приводит к образованию **вторичных коллекторов** из пород, которые формировались как водоупоры. По коллекторским свойствам вторичные коллекторы не только не уступают первичным, но часто и превосходят их.



Процессы растворения повторяются многократно, в результате во вмещающих породах образуется целая система соединяющихся пустот и каналов, в дальнейшем увеличивающихся в размерах. Так возникают **карстовые пещеры**.

Карстовые пещеры иногда достигают огромных размеров. Они широко распространены в России, Абхазии, США, Франции, Италии, Венгрии, Чехии, Словакии, и других странах. Большое количество пещер (свыше сотни) известно в «кавернозных известняках», слагающих плато Кентукки (США). Здесь расположена Мамонтова пещера, которая состоит из пяти ярусов каналов и гротов общей протяженностью свыше 300 км. В Европе крупнейшие пещеры длиной 40 — 60 км известны в Швейцарии (Хельхох) и Австрии (Айсризенвельт). Крупные пещеры имеются в Венгрии, Югославии, Германии.



В регионе наиболее изучены Азишская, Нежная, Скозная, Духан, Саксофон карстовые пещеры, расположенные в известняковом массиве. Это одна из самых крупных исследованных карстовых пещер. Карстовые пещеры как геологическое явление экономически рентабельно вовлекаются в туристический бизнес. В том числе и в развивающихся странах. Полное понимание роли пещер достигнуто и в такой столь богатой культурным наследием стране как Италии. Пещеры представляют интерес в широком диапазоне естественных наук, истории и культуры: палеонтологии, гидрогеологии, минералогии, археологии, биологии, медицины и пр. и пр. Часто они являются местом находок уникальных минералов, фауны или наскальных произведений искусства и предметов материальной культуры. Сохранение их представляется

фундаментальной задачей. Еще сложнее преобразовать пещеру – природный феномен – в посещаемый объект и при этом избежать ущерба, то есть потери культурного и природного наследия и привлекательности для посетителя.

Характерной формой для карстовых пещер являются натечные образования, также связанные с деятельностью подземных вод. Среди натечных форм, которые чаще всего сложены кальцитом, выделяют сталактиты, сталагмиты, колонны, занавеси, перегородки и т. д. Образуются они следующим образом. Подземные воды, проходя через известняки, частично растворяют их и насыщаются бикарбонатом кальция. Попадая в карстовые полости, обогащенные бикарбонатом кальция подземные воды оказываются в условиях более низкого давления, при котором происходит выделение избытка углекислоты, переход растворимого бикарбоната в нерастворимый карбонат кальция и выпадение последнего в осадок.



Вследствие частичного испарения воды в пещере этот процесс интенсифицируется. Так образуются **сталактиты**, которые представляют собой удлиненные, растущие вниз от кровли пещеры подвески, напоминающие ледяные сосульки. Более толстые натечные формы, называемые **сталагмитами**, растут снизу вверх в результате падения капель на дно пещеры, частичного испарения воды, потери некоторого количества углекислоты и выделения нерастворимого бикарбоната кальция. Иногда, соединяясь, сталактиты и сталагмиты образуют натечные формы в виде колонн, занавесей и перегородок. На стенах карстовых пещер нередко возникают карнизы и каскады. На дне большинства пещер развиты многочисленные колодцы или отдельные озера. Иногда они соединяются и воды в виде потока движется по дну пещеры в направлении его уклона.

Многие пещеры состоят из большого количества гrotов и залов, соединяющихся причудливыми галереями и располагающихся на разной высоте — в несколько этажей. Многоэтажность пещер обычно связана с изменением уровня грунтовых вод в зависимости от базиса эрозии местной речной сети. Понижение базиса эрозии сопровождается понижением уровня карстовых вод, что приводит к формированию нового этажа пещеры.

В известняках и доломитах широко развиты пещеры, воронки, кары и другие карстовые формы рельефа. Кроме этого, для известняков и доломитов характерны круто поднимающиеся утесы, а также крупные глыбы накоплений у их подножий. Хребет Каменное море на юге и востоке отвесным уступом обрывается в долину р. Белой. На пологих поверхностях Каменного моря получили широкое распространение каровые воронки. Карстовые холмы и башни, или карстовые останцы в доломитах хребта приобретают довольно резкие формы. Склоны карстовых холмов внизу переходят в склоны окружающих их воронок и котловин. На хребте Каменное море расположен целый ряд карстовых шахт и пещер. Вот некоторые из них.



Шахта «Абсолютная» была открыта в 1978 году. Вход в неё заложен в крупной карстовой воронке на высоте 1990 м. На хребте имеются и другие шахты и пещеры – шахта Университетская, Днепровская, Шикарная, пещеры Дубровского и Озерная. Шахта «Университетская» открыта спелеологами МГУ в 60-е годы. Пещера знаменита мощным подземным ледником. Весной и в начале лета на потолке над ледником образуется большое количество ледяных кристаллов различной величины, собранных в «букеты». Пещера имеет небольшую подземную реку, большое количество натечных образований, длина ее 790 м, глубина 175 м, категория сложности ПА. На Лагонакском нагорье обнаружено 125 карстовых пещер, что составляет 40% от общего их числа в Адыгее. Самой значимой по протяженности (2057 м) и объему (47,2 тыс. м³) является пещера Абсолютная. По всему Лагонакскому нагорью распространены поверхностные формы карста. Особенно ярко они представлены в зоне хр. Каменное море. Здесь встречаются расположенные группами воронки, на дне которых имеются узкие и глубокие поноры - водосливные отверстия разного диаметра. Обращают на себя внимание поля - ямы с отвесными стенами и ровным дном. Между воронками и котловинами поднимаются карстовые формы рельефа – башни и холмы. Река Курджипс выработала молодую долину, на приподнятом участке плато, которая носит название «Сухой желоб». Самой глубокой и сложной пещерой Лагонакского нагорья является «Парящая птица», 517 метров ее вертикальных колодцев с ледяными (+2⁰С) водопадами, соединенные узкими извилистыми горизонтальными участками ходов, оцениваются IVБ категорией сложности. На территории Республики Адыгеи имеются много карстовых пещер. Из них наибольшей известностью пользуются – две: Большая Азишская и Даховская. Большая Азишская пещера находится в южной части хребта Азиш-Тау, в 4 км к северо-востоку от турбазы "Лагонаки" и в 300 м от Лагонакского шоссе. Длина пещеры достигает 635 м. Пещера выработана в верхнеюрских доломитизированных известняках, которые имеют слабое падение (около 5⁰) на северо-запад. Вход в полость представляет вертикальный колодец диаметром 2,5 м и глубиной 18-20 м. Точнее, это отверстие, образованное в результате обвалов части кровли верхнего зала, мощность которой к моменту обрушения была (судя по натекам) всего около метра. Входной зал – это верхний зал полости. Четко выделяются еще 2 уровня, на дне самого нижнего хода протекает ручей, в конце галереи падающий с водопадного уступа и еще через несколько метров исчезающий в узких щелях. Вся пещера состоит из нескольких крупных залов и галереи нижнего этажа, по которой протекает подземная река. Азишская пещера богата натечными образованиями. Это колонны, крупные (до нескольких метров) сталактиты и сталагмиты. Сталактиты часто выстраиваются в цепочки, протянувшиеся точно под пересекающими потолок трещинами. В одном из залов есть даже 2 параллельных друг к другу ряда колонн, которые образуют что-то в виде коридора или прохода. Необычны ребристые натеки над уступом, ведущим из верхнего зала вниз. Интересным образованием пещеры являются кальцитовые плиты, сформировавшиеся, видимо, в древней подземной реке или озере. Иногда их мощность достигает полуметра. После ухода воды часть из них осталась лежать горизонтально, а часть обрушивается. На наклонных, обрушившихся плитах

успели вырасти сталагмиты высотой 20 см и более. Даховская пещера. Даховская пещера расположена в 2,5 км в северо-восточном направлении от устья реки Дах, у основания куэстового уступа.

Перед входом в пещеру находится широкая площадка. Высота входа 60-70 см. В пещеру ведет коридор длиной 20 м. За ним открывается зал длиной 50 м, шириной 15 м и высотой 10 м. В 1957-1959 годах А.А. Формозовым в Даховской пещере была обнаружена, изучена и доисследована в 1966 году стоянка первобытного человека, жившего здесь в эпоху раннего палеолита. Большими спелеологическими возможностями обладает район г. Большой Тхач. Здесь встречаются различные поверхностные и подземные формы карста. Воронки обнаружены на полянах Соколова и Фирсова. Глубина воронок достигает 3-6 метров, а диаметр 5-15 метров. Карстовые колодцы в основном находятся на водоразделах. В поперечнике они достигают 1-5 метра, глубиной до 25 метров. Дно некоторых из них заполнено плотным снегом - фирном, который не тает иногда все лето. Некоторые колодцы скрывают подземные полости. В краевых частях массива и бортах ущелий имеется много гротов и ниш, отдельные из которых достигают значительных размеров. Например, грот «Изумрудный», уходящий крутым, 65-метровым, тоннелем в глубину массива вдоль кальцитовых жил. На его дне есть абсолютно прозрачное озеро, вода в котором, при удачном освещении, приобретает изумрудный оттенок. Грот особенно красив зимой, когда в нем образуется великолепная завеса ледяных сосулек, образующихся из поступающей по каналам в потолок воды. Среди пещер по форме можно выделить три типа: горизонтальные - Амбицу, Медвежья, Кристальная и т.д., вертикальные шахты - «Ход в преисподнюю» и пещеры сложного строения, представляющие систему горизонтальных залов, соединенных с поверхностью колодцами - пещера Ларисочкина, Ароматная. Разновидность горизонтальных полостей - карстовые туннели встречены в верховьях реки Ходзь и в центральной части её каньона (высота 1469 м. пещера Туннель). В днищах карстово-эрозионных ложбин, в пригребневой части Тхача, по трещинам напластования развиты наклонные короткие, но широкие полости, входы которых располагаются под уступами поперек русла (пещера Подрусловая). Здесь же находятся и боковые горизонтальные пещеры правильной полукруглой формы (пещера Заверткина). Особенно интересен участок пещеры Труба - хорошо сохранившийся напорный канал, сечением в форме эллипса, с характерными ребристыми стенами, оказанными обломками известняка на дне и отсутствием натечков. Он свидетельствует о тектонических подвижках массива, из-за чего этот участок пещерной системы оказался резко осушенным. Зато пещера Амбицу пережила все основные стадии развития пещеры. В ее входном тоннеле сохранились следы подземной реки. При постепенном сокращении стока в ее русле образовались натечные плотины - гуры, в настоящее время разрушенные выветриванием, а в дальних изолированных залах еще продолжается активный рост натечков. Из вертикальных подземных полостей здесь пока известна только 190 метровая каскадная шахта «Ход в преисподнюю» на Княжеской поляне. Судя по геологическому строению района подобные шахты могут быть и на других корытообразных участках известнякового плато. Пещерные образования разнообразны, но немногочисленны. Наиболее полно они представлены в пещере

Амбицу, Ларисочкиной и Кристальной. Здесь встречаются мощные натечные люстры, занавеси, сталактиты, сталагмиты и колонны. Из мелких форм наиболее интересны кораллиты в виде «ежиков» на стенах пещер. Красивы мелкие заполненные водой ванночки в Ларисочкиной пещере дно которых выстлано, похожей на окаменевший мох, массой, медленно твердеющего, карбоната кальция. Граница воды в таких ванночках отделена своеобразным «заберегом», а иногда в них плавают пленки кальцита. Стены некоторых пещер покрыты белой сметанообразной массой, называемой «Лунное молоко» представляющей собой известковый коллоид. Он образуется на участках пещер со слабым испарением, где медленно поступающая по трещинам вода надолго задерживается на стенах разжижая породу. На стенах некоторых пещер образуются своеобразные натечные коры, украшенные мелкими «грибочками» со шляпками более темного цвета. Интересны подземные озера в шахте «Ход в преисподнюю» и в пещере «Ларисочкиной». Пещера Амбицу расположена в восточной стене каньона реки Ходзь у скалы Опасная. Имеет два выхода: один на крутом склоне среди леса в основании небольшого скального гребня, спускающегося от бровки склона к его средней части; второй вход - трапециевидный грот в скальном обрыве стены, хорошо видимый с западной стороны каньона. Вглубь массива уходит слабо наклонный тоннель высотой от 3 до 10, метров, шириной от 4 до 12 метров, протяженностью около 200 метров. Пещера имеет два этажа, соединенных узким каналом. Этажи значительно различаются по размерам и, по-видимому, являются руслами подземных рек, имевших различные области питания. В верхнем этаже следы протекавшей здесь реки сохранились слабо. Только остатки гуров высотой около 1 м, разделяющих пол пещеры на отдельные сектора, говорят о ней. Теперь пол покрыт продуктами выветривания, обломками известняка и натечков, только в самом

дальнем зале, отделенном от тоннеля узкими лазами продолжается рост натеков. Огромный натек, языками и мощными сосульками свисает в центре зала, а внизу, почти соединяясь с ним, находится натечный постамент, украшенный выступающими из него отдельными сталагмитами. В этом же зале еще сохраняются небольшие ванночки с водой. Перед ним находится другой зал - Органный, отличающийся великолепной акустикой, создающей отличные условия для хорового пения. Верхний этаж пещеры соединяется с нижним узким трубообразным «лисыим» лазом, начинающимся в основании стены под большим слоем гуано. Через 10 м лаз выводит в наклонный щелеобразный проход, заполненный слоем глинистых отложений. Высота хода по ручью от 0,5 до 1 м и ширина 1-2 м. Сток воды по ручью очень слабый и он разделен мелкими натечными плотинками (гурами) на отдельные заполненные водой углубления. Дно покрыто хорошо окатанными гальками известняка, местами у стен отложения глины. Вверх по ручью ход приводит в небольшой зал заполненный натечными образованиями (зал «Занавес»). Вниз по ручью количество воды увеличивается. Пещера Ларисочкина находится в пригребневой части северо – восточного склона Тхача на водораздельной поверхности между карстово – эрозионными ложбинами. Входной колодец сечением вверху 5 на 2,5 метра, глубиной 6-8 метров. В нижней части колодец вытянут по кальцитовый жиле и расширяется до 6-7 метров. Дно колодца забито плотным снегом (фирном). На высоте 1 м над дном колодца находится узкий горизонтальный лаз диаметром 40-60 см протяженностью 4 м, выходящий в стене подземного зала. Потолок и стены зала покрыты натечками. Из первого зала наклонная узкая щель через 5-6 м приводит во второй зал, в котором находится озеро глубиной 1,5 - 2 м. Зал богат натечками. Озеро, сифоном в его южном углу, соединяется с небольшой полостью, также заполненной водой. Далее пещера не обследована. Пещера Кристалльная - главный вход расположен с северо-восточной стороны 150 м ниже гребня Тхача в районе скалы Колоколья. Пещера образовалась в кальцитовый жиле. Сечение сложное, в начале трапециевидное, местами потолок сужаясь уходит щелью вверх по жиле. Из натеков встречаются практически все разновидности, но в небольшом количестве. Наиболее интересны украшающие стены кораллиты. В глубине, через узкий боковой «шкуродер», выход в грот на юго-западной стене скального обрыва. Над гротом сохранилась часть разрушенного вертикального колодца, через который вода попадала с поверхности массива в те далекие времена, когда в этом месте еще существовало единое известняковое плато, включавшее в себя и территорию над долиной реки Сахрай. Шахта «Ход в преисподнюю» находится на Княжеской поляне со стороны каньона р. Ходзь. Рядом со входом шахты небольшое озерко, образованное на уплотненном суглинке, возможно в те времена, когда здесь пасли скот. Ход - узкая, труднопроходимая наклонная щель, выходящая в стене вертикального 10 м колодца. На дне колодца у его стенки небольшое 1x1 метр, образованное натечками озерко. Далее до глубины в 190 м шахта представляет собой систему вертикальных колодцев, самый глубокий из которых имеет отрицательный уклон и глубину 40 м. По дну шахты течет ручей. Стены сильно изъедены коррозией, имеют острые выступы и представляют много неприятностей при передвижении по шахте. Дно шахты забито железистыми конкрециями. В боковом колодце шахты обнаружены образования в виде сплюснутых трубочек высотой до 2 см, имеющих овальную поверхность с как бы срезанными в одну сторону вершинами. Унакозовские пещеры находятся в 3-х км на северо – восток от ст. Даховской. Унакозовские пещеры – это памятник протомайкопской культуры. Унакозовский энеолитический пещерный городок составляют: 3 пещеры; 3 грота; участок древней скотопрогонной дороги; загон для скота на плато над пещерами. Из природных элементов следует выделить природную "триумфальную арку", смотровую скалу и 2 верхних грота. Наиболее исследованная пещера №1 представляет анфиладу из 3-х залов и дромос с камерой. В дромосе исследованы 3 погребения медно – каменного века. Пещера имеет в длину 20 м. Ориентировка входа восточная; скальный разлом известнякового массива фактически тянется вдоль скального обнажения на высоте около 10 м от основания эскарпа.

Большинство исследованных пещер связано с выщелачиванием известняков. Однако в мощных пластах, сложенных другими растворимыми минералами, также развиваются карстовые процессы.



С течением времени на поверхности района, сложенного карстующимися породами, могут возникать различные формы карстового ландшафта. По условиям образования выделяются карстовые формы, связанные с выщелачиванием (карры) и с провалами и оседанием сводов пещер (воронки, колодцы, долины и поля).

Сначала на поверхности известнякового массива возникают глубокие борозды. Происхождение их связано с тем, что атмосферная вода, обогащенная углекислотой, проникает в трещины, растворяет их края, постепенно образуя небольшие углубления и промоины. С появлением направленного стока вод в промоинах и углублениях усиливаются процессы выщелачивания известняков, в результате образуется система борозд и желобков, разделенных узкими гребнями. Все эти формы и получили название **карров**.



Карстовые воронки представляют собой асимметричные чашеобразные углубления, диаметр и глубина которых изменяются от единиц до десятков метров. Округлые, пологие и не особенно глубокие воронки называются **долинами**. Нередко на дне карстовых воронок и других форм карстового рельефа встречаются глубокие отверстия, называемые **понорами**. Они представляют собой своеобразные вертикальные каналы, ведущие к подземным карстовым полостям внутри известнякового массива.

Смыкаясь друг с другом, поноры образуют более крупные формы поверхностного карста — **котловины** и **поля**. Последние могут возникать также в результате провала кровли пещер. В рельефе поля выделяются обширными размерами, имеют вид замкнутых впадин с крутыми бортами и относительно плоским дном. Нередко такие депрессии заполняются водой, образуя карстовые озера (9).



Карст - это совокупность геологических процессов и созданных ими явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных растворением горных пород. Он обуславливает образование пустот, разрушение, изменение структуры и состояния пород, возникновение особого вида движения подземных вод, типичных форм рельефа (воронки, провалы, поноры) и режиму рек (сухие части русел, сифоны и пр.). Карст наиболее неприемлем при возведении плотин, создании водохранилищ, каналов и туннелей. Защита от опасных последствий карста достигается созданием противодиффузионных завес, экранированием, искусственными кольматажами или приспособлением конструкции сооружений к природным условиям.

Водопроницаемость закарстованных пород зависит от гидравлической связи между кавернами и трещинами, выделяют пористо - ячеистую и трещинную водопроницаемость. На степень и характер развития карста оказывает влияние интенсивность движения воды по трещинам. Распространенные в бортах долин трещины бортового отпора часто оказываются наиболее закарстованными.

С нисходящими потоками подземных вод связана *суффозия* - явление механического вымывания части песчаных зерен из грунтов. В этой связи образуются суффозионные провалы и просадки. Карстово-суффозионные просадки рельефа, в том числе техногенные, бывают значительными. Например, после десятилетий эксплуатации месторождений нефти и газа в шт. Техас США, просадка поверхности достигла 8 м.

Развитие опасных геологических процессоры природного и природно-техногенного характера усугубляет возможные разрушительные последствия.

Карстовый процесс относится к числу сложных природных явлений, для развития которого необходимо одновременное сочетание в пространстве и во времени следующих основных условий: наличие поровой или трещиной проницаемости, наличие движущейся воды, наличие ее растворяющей способности.



На территории Республики Адыгея проявления карстовых процессов отмечаются на массиве Фишт – Оштен – Лаго-Наки и на плато Черногорье. Они расположены в пределах средне- и высокогорного резкорасчлененного и платообразного рельефа, сложенного сильно дислоцированными известняками верхней юры. По степени увлажнения район относится к влажному и избыточно влажному. Распространение здесь имеет карст голый, задернованный, покрытый; нивально-коррозионного, коррозионно-гравитационного, коррозионно-эрозионного и эрозионно-коррозионного классов. В системе Инженерного хребта в верхнеюрских известняках встречается палеокарст.

Поверхностный карст представлен разнообразными формами:

Котловины развиты на массиве Фишт - Оштен. Размеры их от 150 до 250 м. Сток из котловин, как правило, отсутствует.

Воронки, размером их в плане диаметром от 3-4 м до 30-50 м и глубиной до 10-15 м, распространены повсеместно. На плато Лагонаки на поднятии Хуко воронки заполнены водой.

Поноры широко развиты в руслах и бортах долин плато Лагонаки. Они являются участками активного поглощения поверхностного стока.



Провалы распространены на плато Лагонаки, на хребте Азиш-Тау и др. Они образуются в результате обрушения кровли подземных полостей.

Карры широко развиты на вершинах г.г. Фишт, Оштен, в урочище Каменное море. Глубина карр до 3 м, а ширина в верхней части 1,5-2 м.

Подземный карст распространен повсеместно. Размер пещер колеблется от нескольких метров до 1000 м и более в длину. На участках рельефа с относительными превышениями до 800-1000 м (г.г. Фишт, Оштен, хребет Азиш-Тау и Инженерный) на крутых склонах и в приривочной части скальных уступов наблюдаются шахты - поноры глубиной до 200 м. Пораженность рельефа карстом в юго-западной части Республики Адыгея (массив Фишт - Оштен, плато Лагонаки, Черногорье) по результатам дешифрирования, аэровизуальных наблюдений и пешеходных маршрутов составляет 50-60%, местами 20%. К северо-востоку и юго-востоку от ст. Даховской в верхнеюрских карбонатных отложениях распространены поверхностные формы карста в виде воронок, котловин, карстовых оврагов, мостов и арок. Наибольшим распространением пользуются карстовые овраги и воронки глубиной до 6 м, диаметром 2 м. На втором месте после воронок отмечаются карстовые овраги. Ширина оврагов по верху 5-6 м, глубина до 5 м. Подземные полости различной формы, глубины и протяженности распространены в основном в пределах крутых и обрывистых склонов. Пораженность территории карстовыми процессами составляет здесь около 20%.

Карстовые районы на территории Майкопского района Республики Адыгея в настоящее время расположены преимущественно вне зон первоочередного хозяйственного освоения. Однако это не исключает необходимость осуществления ряда профилактических природозащитных мероприятий. Необходима строгая санитарная защита площадей закарстованных пород на плато Лагонаки, загрязнение которых может вызвать ухудшение санитарного состояния подземных вод, используемых для водоснабжения г. Майкопа (10).



Список литературы

1. Баринов А.В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них.-М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003.-496 с.
2. Волкодав И.Г. Геология Адыгеи. Майкоп: АГУ, 2007- 251с.
3. Волкодав И.Г. Циклическая история органического развития Кавказа. Вестник Адыг. гос. ун-та. Серия «Естественно-математические и технические науки». Майкоп: Изд-во АГУ. 2010. Вып.2 (61). – 160с. Стр. 121-128.

4. Востряков А.В. Принципы и методы картирования современных экзогенных физико-геологических процессов/ А.В. Востряков, В.А. Гарянных, В.Н. Зойнц, А.Д. Наумов. М.:Наука, 1980.
5. Геология СССР г. 9. Северный Кавказ. г. 1. Геологическое описание. М. : Недра, 1968. – 760с.
6. Гаврилова С.А., Грязнова В.В., Данилина А.В., Шныпарков А.Л. Анализ распределения чрезвычайных ситуаций природного характера в конце XX – начале XXI века на территории России. //Геориск. 2011. №4, с.58-64.
7. Кандауров, А.С. Геологическая карта Краснодарского края и республики Адыгея. / Кандауров А.С., Молчанов Е.Г. – Краснодар: ГУП «Кубаньгеология». 2006.
6. Константинов Ю.А. Значение инженерной геологии для проектирования и строительства промышленно-гражданских сооружений и их эксплуатации (тезисы). Материалы XIX Международной научно-практической конференции «Тенденции и инновации современной науки». Краснодар.29.03. 2017г. – с. 36.
7. Константинов Ю.А. Значение инженерной геологии для проектирования и строительства промышленно-гражданских сооружений и их эксплуатации (статья). Материалы III Международной научно-практической конференции «Основные проблемы естественных и математических наук». Волгоград. 2016 г. – с.66-72.
8. Константинов Ю.А., Хатамов Ю.Б. «Селевые явления на территории Республики Адыгея». LIII Международная научно-практическая конференция «Актуальные процессы формирования интегративно-целостного мышления в современном научном мире». Сборник «Новая наука и формирование интегративно-целостного мышления». Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества (г.Казань) за октябрь 2017 года. – с.285-315.
9. Константинов Ю.А., Хатамов Ю.Б., Шаова Ж.А. «Влияние инженерно-геологических условий на проектирование автомобильных дорог предгорной зоны Республики Адыгея». Сборник «Новая наука и формирование культуры знаний современного человека». Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества (г.Казань) за январь 2018 года. – с.406-424.
10. Корректировка (изменение) Схемы территориального планирования Республики Адыгея. ООО «ОРБИТА», Майкоп, 2015 г.-334с.
11. Осипов В.И. Опасные экзогенные процессы/В.И. Осипов, В.М. Кутепов, В.П. Зверев и др. – М.: ГЕОС, 1999. – 290 с.
12. Полуниин Т.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов/ Т.В. Полуниин. – М.:Наука,1989.-231с.
13. Схема территориального планирования Майкопского района республики Адыгея. ООО «Донской градостроительный центр». 2009. Ростов на Дону.
14. Толстых Е.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов/ Е.А. Толстых, А.А. Ключкин. – М.:Недра, 1984.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2018 ГОД

Январь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Актуальные вопросы естественных и математических наук в современных условиях развития страны**», г. Санкт-Петербург

Прием статей для публикации: до 1 января 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 февраля 2018г.

Февраль 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Актуальные проблемы естественных и математических наук в России и за рубежом**», г. Новосибирск

Прием статей для публикации: до 1 февраля 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 марта 2018г.

Март 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Актуальные вопросы современных математических и естественных наук**», г. Екатеринбург

Прием статей для публикации: до 1 марта 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 апреля 2018г.

Апрель 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Актуальные проблемы и достижения в естественных и математических науках**», г. Самара

Прием статей для публикации: до 1 апреля 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 мая 2018г.

Май 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Актуальные вопросы и перспективы развития математических и естественных наук**», г. Омск

Прием статей для публикации: до 1 мая 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июня 2018г.

Июнь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**Современные проблемы математических и естественных наук в мире**», г. Казань

Прием статей для публикации: до 1 июня 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июля 2018г.

Июль 2018г.

V Международная научно-практическая конференция «**О вопросах и проблемах современных математических и естественных наук**», г. Челябинск

Прием статей для публикации: до 1 июля 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 августа 2018г.

Август 2018г.

V Международная научно-практическая конференция **«Информационные технологии естественных и математических наук»**, г. Ростов-на-Дону

Прием статей для публикации: до 1 августа 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 сентября 2018г.

Сентябрь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция **«Естественные и математические науки в современном мире»**, г. Уфа

Прием статей для публикации: до 1 сентября 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 октября 2018г.

Октябрь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция **«Основные проблемы естественных и математических наук»**, г. Волгоград

Прием статей для публикации: до 1 октября 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 ноября 2018г.

Ноябрь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция **«Естественные и математические науки: вопросы и тенденции развития»**, г. Красноярск

Прием статей для публикации: до 1 ноября 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 декабря 2018г.

Декабрь 2018г.

V Международная научно-практическая конференция **«Перспективы развития современных математических и естественных наук»**, г. Воронеж

Прием статей для публикации: до 1 декабря 2018г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 января 2019г.

С более подробной информацией о международных научно-практических конференциях можно ознакомиться на официальном сайте Инновационного центра развития образования и науки www.izron.ru (раздел «Естественные и математические науки»).

ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Современные проблемы математических
и естественных наук в мире**

Выпуск V

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 июня 2018 г.)**

г. Казань

2018 г.

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка авторская

Издатель Инновационный центр развития образования и науки (ИЦРОН),
603086, г. Нижний Новгород, ул. Мурашкинская, д. 7.

Подписано в печать 10.06.2018.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 6,7.
Тираж 250 экз. Заказ № 067.

Отпечатано по заказу ИЦРОН в ООО «Ареал»
603000, г. Нижний Новгород, ул. Студеная, д. 58.