

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Н.Здрок

«30» июня 2020 г.

Регистрационный № УД- 8956/уч.

## **Free Radical Biology**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 01 Biology

профилизация Molecular and Clinical Biology

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 01-2019 и учебного плана УВО № G 31a-127/уч., утвержденного 01.04.2020 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

В.В.Демидчик, декан биологического факультета Белорусского государственного университета, доктор биологических наук;  
В.А.Костюк, профессор кафедры физиологии человека и животных Белорусского государственного университета, доктор химических наук;

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Л.Ф.Кабашникова, заведующая лабораторией прикладной биофизики и биохимии ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси», доктор биологических наук, доцент, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси;  
Н.Л.Пшибытко, заведующая учебной лабораторией организации и нормативно-методического сопровождения научно-инновационной деятельности в области биологии биологического факультета

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой клеточной биологии и биоинженерии растений БГУ  
(протокол № 21 от 02 июня 2020 г.);

Кафедрой физиологии человека и животных БГУ  
(протокол № 17 от 20 мая 2020 г.)

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 17 июня 2020 г.)

Зав. кафедрой клеточной биологии  
и биоинженерии растений  
к.б.н., доцент



И.И.Смолич

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

**Цель** учебной дисциплины – сформировать у студентов целостную систему теоретических и практических знаний о химических свойствах, превращениях в клетке и физиологических функциях свободных радикалов в живых системах.

### Задачи учебной дисциплины:

В задачи дисциплины входит освоение основ химического строения, неферментативного и ферментативного синтеза, а также механизмов основных биохимических и физиологических процессов, в которых участвуют активные формы кислорода, азота и хлора, а также другие физиологически-значимые окислители, О- и С-центрированные радикалы и редокс-активные ферментативные системы. Кроме того, в рамках данной дисциплины рассматривается химическая природа и функции антиоксидантов. В задачи дисциплины также входит изложение принципов современных подходов исследования, используемых в редокс-биологии растений и животных. Важной задачей также является рассмотрение конкретных примеров использования знаний по свободнорадикальной и редокс-биологии в целях в фундаментальных исследованиях, медицине, сельском хозяйстве, экологии и биотехнологии.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра)

Учебная дисциплина относится к компоненту учреждения высшего образования учебного плана англоязычной магистратуры и входит учебный **модуль** «Онкоиммунология и свободно-радикальные процессы в живых системах».

**Связи** с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования и др.

Учебная программа составлена с учётом межпредметных связей с учебными дисциплинами «Клеточная биология», «Сигнальная трансдукция», «Практикум по клеточной и молекулярной биологии».

### Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Free Radical Biology» совместно с учебной дисциплиной «Oncoimmunology» должно обеспечить формирование следующей **специализированной** компетенции:

СК-5. Владеть современными знаниями в области онкоиммунологии, неспецифической и специфической иммунотерапии, быть способным анализировать и прогнозировать патофизиологические последствия окислительного стресса на уровне клеток, тканей и целого организма.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

– химические свойства и реакции образования и основных превращений в

клетке активных форм кислорода, других радикалов и активных молекул и антиоксидантов;

- механизмы образования и основные пути детоксикации биорадикалов;
- физиологическое значение биорадикалов и активных форм кислорода, патофизиологические последствия их избыточного образования на уровне клеток тканей и целого организма животного и растения;

- методики исследования биорадикалов в живых системах и подходы к изучению процессов свободнорадикального окисления и связанных с этим физиологических явлений.

***уметь:***

- ставить и решать фундаментальные и прикладные задачи в области свободнорадикальной биологии животных и растений, создавать и использовать методические материалы для преподавания дисциплин, связанных с редокс-биологией животных и растений, анализировать и использовать в научном и педагогическом процессе научную литературу и другую информацию по проблемам свободнорадикальной биологии.

***владеть:***

- навыками и знаниями в области свободнорадикальной и редокс-биологии растения и животных; методами идентификации активных форм кислорода, терминологией и понятийным аппаратом редокс-биологии.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Free Radical Biology» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 198 часов, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 20 часов, практические занятия – 8 часов, управляемая самостоятельная работа – 26 часов (в том числе контроль управляемой самостоятельной работы – 12 часов (ДО), внеаудиторный контроль – 14 часов).

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Theme 1. INTRODUCTION TO FREE RADICAL AND REDOX BIOLOGY

Activation of triplet oxygen, general chemistry of reactive oxygen species (ROS) and free radicals. Oxygen and its forms in living nature. Evolutionary aspects of ROS and free radicals. Definition of ROS, free radicals and active forms of nitrogen (RNS). Non-radical and radical ROS. Concepts of oxidant, reductant, oxidative and reducing, oxidative-reducing (redox) and standard oxidative redox potentials. The most important formulations of IUPAC related to redox processes, ROS and related chemical interactions. The most important ROS in living systems, the concept of oxidative stress, antioxidants and ROS-dependent regulation. The major ROSs found in biological systems. Chemical and physical properties of ROS, which have biological activity. Hierarchy of importance of individual ROSs from a physiological point of view. Relationship (crosscut) between individual ROSs. A diagram of the ways of formation of ROS in various cellular combinations and tissues. The definition of oxidative stress, its nature and consequences. The concept and classification of antioxidants. General ideas about the regulatory role of the ROS. ROS generation as a side mechanism and synthesis of ROS for regulatory purposes *de novo*.

### Theme 2. THE BIOCHEMISTRY OF MAJOR REACTIVE OXYGEN SPECIES AND FREE RADICALS

Superoxide anion radical: the physical and chemical properties and registration technique in different experiment systems. Superoxide formation - the central reaction of free-radical and ROS-dependent transformations in living systems, and one of the most important physiological and pathophysiological processes of the cell. The chemical characteristics of superoxide, properties and reactions, in which it can enter. Role as a precursor to other ROS and RNS, and as reductant of transition metals. pH-dependent formation of hydroperoxyl radicals, their dismutation with the formation of hydrogen peroxide. Interaction of superoxide with nitrogen monoxide. The methods of detecting superoxide and studies of the spatial localization of its synthesis in cells and tissues: colorimetric, spectrophotometric, spectroscopy of electron paramagnetic (spin) resonance (EPR), fluorescent and fluorescent probes, inherited indicators (HyPer) and others. Localization of superoxide synthesis cells and plant tissues. Overview of key sites of intracellular superoxide production. Sites generating superoxide in electron transporting chains (ETC) of chloroplasts. "Leak" of electrons on triplet oxygen in ETC of mitochondria. General principles of superoxide detoxification with antioxidants in chloroplasts, mitochondria and peroxisomes. Structure, function and physiological roles of NADPH-oxidases in eukaryotes. Oxidative burst in the cell wall and apoplast: discovery, mechanism, the role of NADPH-oxidase, peroxidase and other enzymes. NOX/Rboh structural analysis in different organisms.  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent activation and transfer of electrons by NADPH-oxidase. Features of expression and functioning of NOX/Rboh in *Arabidopsis thaliana*. Polar localization of NOX/Rboh, its relationship with  $\text{Ca}^{2+}$  transport systems and its role in growth of plant cell. The most important

physiological roles of NOX/Rboh in different cell types, tissues and different plant species.

Hydrogen peroxide as the most stable ROS in living systems. Properties, biological activity and physiological significance of hydrogen peroxide. Localization and mechanisms of hydrogen peroxide formation in tissues. Estimated "lifetime" of hydrogen peroxide in biological systems, phenomena of local accumulation and localization of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in hotspots. Hydrogen peroxide reactions in plant cells. Functioning of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as autocrine and paracrine regulator. Hypothesis of systemic stress resistance involving H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Theory of intracellular retrograde signaling. Antioxidants that decompose H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Detection of hydrogen peroxide in different objects.

Hydroxyl radical: synthesis, chemical properties, reaction with organic molecules and involvement to physiological processes. Hydroxyl radical - the most active ROS and the key player in pathophysiological changes induced by the ROS. Experiments of Fenton, Haber and Weiss. Non-fermentative and enzymatic synthesis types of hydroxyl radicals in plants. Transition metal centres in proteins. The theory of local hydroxyl radical synthesis. Examples of critical physiological reactions involving hydroxyl-radical synthesis: growth, softening and restructuring of the cell wall.

The role of transition metals in free-radical processes. Definition of transition metals by IUPAC. Free metals and their complexes in plant and animal systems. Types of coordination complexes and their biochemical properties. Heme and other important redox-active metal-containing proteins. The concept of catalytic activity of transition metals. Effects of hydroxyl on proteins and polysaccharides. The structure and characteristics of metallothioneines and phytochelatin, their role in scavenging excess redox-active metals.

Singlet oxygen, active forms of nitrogen, chlorine and bromine, their synthesis, properties and role in plant physiology. The chemical nature and pathways of singlet oxygen biosynthesis in chloroplasts. Potential sources of singlet oxygen in others cell compartments. The chemical nature of active forms of nitrogen, chlorine and bromine. Interaction of nitrogen monoxide (NO) with superoxide. Reaction of peroxynitrite and CO<sub>2</sub> as a source of nitrite and carbonate radicals. The role of different ROS in the physiological reactions. Evidence of the potential role of active forms of nitrogen, chlorine and bromine in plant and animal life.

### **Theme 3. OXIDATIVE STRESS AND DAMAGE OF MOLECULES IN LIVING SYSTEMS**

Definition of the oxidative stress. The impact of ROS on proteins: modification of essential amino acids, reversible and irreversible modifications of amino acids, oxidation of sulfur-containing amino acids, oxidative carbonylation. Influence of ROS on lipids: hydroperoxidative oxidation, chemical chain reactions of lipid oxidation, fragmentation reactions. The special role of hydroxyl radicals and transition metals in cell lipid oxidation. ROS-induced modification of DNA and RNA, and carbohydrates, their potential role in physiology. Methods of detecting oxidative damage in different tissues and cells.

#### **Theme 4. ANTIOXIDANT AND ANTI-RADICAL SYSTEMS: MAJOR GROUPS, FUNCTIONAL ACTIVITY AND PHYSIOLOGICAL ROLES**

The most important non-enzymatic (low-molecular weight) and enzymatic antioxidants in plants and other organisms, their structure, localization and function. Asada-Foyer-Halliwell cycle, his role in the detoxification of ROS in photosynthetic tissues. Catalases, superoxide dismutases and peroxidases as the most important enzymatic antioxidants of plants and animals. Ascorbic acid and reduced glutathione - key low-molecular antioxidants of plants. Other plant substances with an established antioxidant activities. The role of transition metal binding systems, reparation of proteins and nucleic acids in protecting cells from oxidative stress.

#### **Theme 5. THE ROLE OF THE ROS AS SIGNAL AGENTS AND REGULATORS OF THE ONTOGENESIS**

Synthesis of ROS for the signaling needs of the cell, their potential role in transmission of hormonal signals and encoding of abiotic stimuli. Modern ideas about potential ROS-encoding receptor signals. Interaction between ROS- and  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent signaling processes and their combined role in encoding and strengthening regulatory and stress signals in plants. ROS- $\text{Ca}^{2+}$ -hub on plasma membrane as a central mechanism for coordinating physiological functions of the plant organism. ROS participation in the regulation of autophagy and programmed cell death. The role of ROS- $\text{Ca}^{2+}$ -hub in the signaling in plants and animals. ROS- $\text{Ca}^{2+}$  signal network. The generation of ROS as a central link in stress reactions in plants. Synthesis of ROS and RNS under stress, relationship with stress hormones. Redox-dependent regulation in the development of response to pathogens and abiotic stress. Redox reaction control of hypersensitivity to pathogens. Balancing and choosing between adaptation and cell death. Future of research on ROS in living systems.

#### **Theme 6. CURRENT ADVANCES IN RESEARCH ON FREE RADICALS AND APPLICATIONS OF REDOX BIOLOGY IN BIOTECHNOLOGY AND OTHER DISCIPLINES**

Latest research in free-radical biology plants and their practical use. The redox-regulation system as the main target of genetic modifications, breeding and phenomics analyses. Using knowledge in the field of free radical biology in biotechnology and bioengineering. Disclosure of the potential role of receptor kinase in the ROS reception as a new ability to control physiological processes. Practical aspects of gene expression regulation under ROS action.

#### **Theme 7. FORMATION OF BIORADICALS AND ACTIVE MOLECULES IN AN ANIMAL ORGANISM**

Physiologically significant pathways for the formation of bioradicals, the role of flavoproteins, cytochromes, and other electron carriers. Sources of superoxide in

aerobes: auto-oxidation reactions; haem proteins; mitochondrial electron transport; endoplasmic reticulum. Fenton and Haber-Weiss reaction. Radicals formed by the action of radiation. Radiolysis and photolysis. The concept of photosensitizers and photosensitized oxidation. Photodynamic effect and possibilities of its practical use. Radicals formed during the metabolic activation of xenobiotics in the microsomal oxidation system. Toxicification.

### **Theme 8. REGULATION OF THE PROCESSES OF FREE RADICAL OXIDATION IN THE ANIMAL ORGANISM**

The main mechanisms of the physiological antioxidant protective system. Biochemical mechanisms of antioxidant protection. Classification of antioxidants. Antioxidant enzyme system: molecular mechanisms of action and functional role of superoxide dismutase, catalase, glutathione-dependent peroxidases, phospholipases. Low molecular weight antioxidant system. Fat-soluble (vitamins A, K, tocopherols, ubiquinones, steroid hormones, cholesterol) and water-soluble (glutathione, ascorbic acid, uric acid, serotonin, histamine). The specificity of the action of water-soluble antioxidants and antioxidants inhibiting the development of chain reactions in the lipid phase. Synergism in the action of antioxidants. Methods and model systems for studying antioxidant activity. Practical use of antioxidants, bioflavonoids and nutritional supplements. Epidemiological evidence of the appropriateness of the use of antioxidants as a means of therapy and prevention. The mechanism of the antioxidant action of chelators. Structural antioxidant effect. Mechanisms for eliminating the consequences of free radical DNA damage.

### **Theme 9. PARTICIPATION OF BIORADICALS IN PHYSIOLOGICAL PROCESSES AND DEVELOPMENT OF PATHOLOGICAL REACTIONS**

The role of bioradicals in biosignaling processes. Nitric monoxide, ways of formation, nitric oxide cycle, types of NO-synthetases. Physiological role of nitrogen monoxide produced in the nervous system, endothelial cells and the immune system. Signaling role of bioradicals in inflammation processes, chemoattractants. Hydrogen peroxide is a signaling molecule. The regulatory role of endoperoxides: prostaglandins and leukotrienes. Li-poxygenase and cyclooxygenase. Physiological role of cyclooxygenase 2. Bioradicals in the system of nonspecific immunity. The phenomenon of respiratory burst in phagocytic cells and NADPH-oxidase complex. Physiological role of myeloperoxidase. Oxidative stress and human disease. The concept of oxidative stress, its criteria. Factors contributing to the development of oxidative stress: avitaminosis, lack of selenium in food, adverse effects of ionizing and UV radiation. Radical-initiating action of xenobiotics and mineral fibers, chronic inflammation. Oxidative stress and apoptosis. The role of oxidative stress in the development of atherosclerosis, cataracts and other eye diseases, neurodegenerative diseases, diabetes beta. The role of free radical processes in carcinogenesis. Free



radical processes and ischemia-reperfusion syndrome, tissue hypoxia. The problem of peroxidation in the preservation of organs and tissues.

#### **Theme 10. THE ROLE OF BIORADICALS AND ANTIOXIDANTS IN AGING AND DEATH OF CELLS**

The main ways of cell death. Apoptosis and necrosis. The biological significance of apoptosis. Morphological signs of apoptosis and necrosis. Biochemical signs of apoptosis and necrosis. Inter- and intracellular signaling of cell death. The role of bioradicals in the initiation of death cascades in mammals. The relationship between oxidative stress, mitoptosis and apoptosis. Free radical theory of aging. Prospects for the use of antioxidants in gerontology (geriatrics).

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер темы	Название темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские Занятия	Лабораторные Занятия	Иное		
1	Introduction to free radical and redox biology	2						
2	The biochemistry of major reactive oxygen species and free radicals	2	4					Устный опрос
3	Oxidative stress and damage of molecules in living systems	2					4 (ДО) 4 внеауд.	Реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle
4	Antioxidant and anti-radical systems: major groups, functional activity and physiological roles	2						
5	The role of the ROS as signal agents and regulators of the ontogenesis	2						
6	Current advances in research on free radicals and applications of redox biology in biotechnology and other disciplines	2	4					Устный опрос
7	Formation of bioradicals and active molecules in an animal organism	2						
8	Regulation of the processes of free radical oxidation in the animal organism	2					4 (ДО) 4 внеауд.	Реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle
9	Participation of bioradicals in physiological processes and development of pathological reactions	2					4 (ДО) 6 внеауд.	Реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle
10	The role of bioradicals and antioxidants in aging and death of cells	2						
	<b>Всего</b>	<b>20</b>	<b>8</b>				<b>12 (ДО) 14 внеауд.</b>	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Halliwell B. Free radicals in biology and medicine / B.Halliwell., J.M.C. Gutteridge 4th edition, Oxford University Press, Clarendon, UK, 2007.
2. Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C.) Free radicals in biology and medicine. 5th Edition, Oxford University Press, New York, 2015.
3. Denisov E.T., Afanas'ev I. B. Oxidation and Antioxidants in Organic Chemistry and Biology. CRC Press, 2005 p.1024.
4. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology / Environmental and experimental botany. – 2015. – 109. – P. 212-228

### Перечень дополнительной литературы

1. *Lusis A.J.* Atherosclerosis // Nature. 2000; Vol 407, No 6801: 233-41.
2. Lazarevic-Pasti T., Leskovac A. Vesna Vasic V. Myeloperoxidase inhibitors as potential drugs // Current Drug Metabolism, 2015, 16, 168-190
3. Kostyuk, V.A. Potapovich, A.I. Mechanisms of the suppression of free radical overproduction by antioxidant. // Front Biosci (Elite Ed). 2009. 1:179-88.
5. Korkina LG, De Luca C, Kostyuk VA., Pastore S. Plant polyphenols and tumors: from mechanisms to therapies, prevention, and protection against toxicity of anti-cancer treatments // Curr Med Chem. 2009. 16(30):3943-65.
6. Potapovich A.I., Kostyuk V.A. // Comparative study of antioxidant properties and cytoprotective activity of flavonoids. Biochemistry (Moscow) 2003. 68, 514-519.

### Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Оценка за ответы на практических занятиях может включать в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики и т.д.

При оценивании рефератов обращается внимание на содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления и т.д.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- устные опросы на практических занятиях – 50 %
- реферат – 50 %;

Формой текущей аттестации по дисциплине «Free Radical Biology» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы обучающихся**

#### **Theme 3. Oxidative stress and damage of molecules in living systems**

Comparison of oxidative stress in plants and animals.

Форма контроля – реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle.

#### **Theme 8. Regulation of the processes of free radical oxidation in the animal organism**

Antioxidants as vitamins: mechanisms of action in animals.

Форма контроля – реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle.

#### **Theme 9. Participation of bioradicals in physiological processes and development of pathological disease.**

Oxidative stress and human diseases.

Форма контроля – реферат на образовательном портале БГУ LMS Moodle.

### **Примерная тематика практических занятий**

Практическое занятие № 1. Fluorescent imaging of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> using microscopy (4 часа).

Практическое занятие № 2. Basic principles of electron paramagnetic resonance spectroscopy and measurements of hydroxyl radical generation using spin traps (4 часа).

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса по учебной дисциплине «Free Radical Biology» используются:

**практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию индивидуальных студенческих проектов;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

**метод проектного обучения**, который предполагает:

- способ организации учебной деятельности обучающихся, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;
- приобретение навыков для решения исследовательских задач.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка и написание рефератов, презентаций на заданные темы;
- подготовка к экзамену.

### **Темы реферативных работ**

1. Structure of heme-containing antioxidants.
2. The role of reactive oxygen species in developmental processes in animals.
3. Functions of reactive oxygen species in plant pollen incompatibility.
4. Involvement of free radicals in cancer.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Hydroxyl radical: synthesis, chemical properties, reaction with organic molecules and involvement to physiological processes.
2. Synthesis of ROS for the signaling needs of the cell, their potential role in transmission of hormonal signals and encoding of abiotic stimuli.
3. The most important formulations of IUPAC related to redox processes, ROS and related chemical interactions.
4. Properties, biological activity and physiological significance of hydrogen peroxide.
5. The definition of oxidative stress, its nature and consequences.
6. The methods of detecting superoxide and studies of the spatial localization of its synthesis in cells and tissues: colorimetric, spectrophotometric, spectroscopy of electron paramagnetic (spin) resonance (EPR), fluorescent and fluorescent probes, inherited indicators (HyPer) and others.
7. The major ROSs found in biological systems.
8. The concept of catalytic activity of transition metals.

9. Structure, function and physiological roles of NADPH-oxidases in eukaryotes.
10. Catalases, superoxide dismutases and peroxidases as the most important enzymatic antioxidants of plants and animals.
11. Non-enzymatic and enzymatic synthesis types of hydroxyl radicals
12. Influence of ROS on lipids: hydroperoxidative oxidation, chemical chain reactions of lipid oxidation, fragmentation reactions.
13. The role of oxygen and biological oxidation in the vital processes of aerobic organisms. Development of ideas about the mechanisms of the toxic action of oxygen.
14. The main mechanisms of the physiological antioxidant defense system.
15. Nomenclature of organic and inorganic radicals.
16. Biochemical mechanisms of antioxidant protection. Classification of antioxidants. Antioxidant enzyme system.
17. The concept of the ground and excited state of molecular oxygen. Bioradicals and their classification.
18. The system of low molecular weight antioxidants, fat-soluble and water-soluble representatives. Synergism in the action of antioxidants.
19. Formation of bioradicals in the body, physiologically significant pathways for the formation of bioradicals
20. Methods and model systems for studying antioxidant activity.
21. Radicals formed by the action of radiation. Radiolysis and photolysis. The concept of photosensitizers and photosensitized oxidation.
22. Practical use of antioxidants, nutritional supplements. Epidemiological evidence of the appropriateness of the use of antioxidants as a means of therapy and prevention.
23. Radicals formed during the metabolic activation of xenobiotics in the microsomal oxidation system. Toxication phenomenon.
24. The role of bioradicals in biosignaling processes. Nitrogen monoxide, ways of formation, nitric oxide cycle, types of NO synthases.
25. The concept of free radical (peroxide) oxidation as a fundamental mechanism of cellular pathology. The significance of A.N. Bach, N.N. Semenova, N.M. Emmanouel. General scheme of reactions of chain oxidation of organic compounds.
26. Physiological role of nitrogen monoxide produced in the nervous system, endothelial cells and the immune system.
27. Initiation of chain oxidation. Fenton and Haber-Weiss reaction. Chain propagation reaction, its dependence on membrane viscosity and oxygen concentration. Branching and chain termination reactions; the role of antioxidants.
28. Signaling role of bioradicals in inflammation processes, chemoattractants. The regulatory role of endoperoxides: prostaglandins and leukotrienes.
29. Consequences of lipid peroxidation of cell membranes
30. Lipoxygenase and Cyclooxygenase. Physiological role of cyclooxygenase
- 2.
31. Free radical oxidation of nucleic acids and proteins. Mutagenesis.

32. Bioradicals in the system of nonspecific immunity. The phenomenon of respiratory burst in phagocytic cells and the NADPH-oxidase complex.

33. Methods for detecting bioradicals and studying the processes of free radical oxidation.

34. The role of bioradicals and antioxidants in aging and cell death.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Практикум по клеточной и молекулярной биологии	Клеточной биологии и биоинженерии растений;  Физиологии человека и животных	Отсутствуют	Утвердить согласование (протокол № 20 от 02 июня 2020 г.)  (протокол № 17 от 20 мая 2020 г.)



**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_